

Aménagement du plan d'eau du Châtelard

Le CHATELARD-EN-BAUGES- Rhône Alpes- 73



Source : Aymeric Le Cavil

28/05/2017

LE CAVIL Aymeric
DAE 3- 2016-2017

Tuteur : PEETERS Pierre

Avertissement

- Le PIND est un premier test qui permet à l'élève ingénieur de s'évaluer (et d'être évalué par les enseignants), de prendre conscience des connaissances acquises mais également de la marge de progression et des éléments qui lui restent à acquérir.
- Le PIND est un espace de liberté (le seul dans la formation) qui mesure la motivation de l'élève ingénieur pour l'aménagement.
- Le PIND est un exercice qui doit permettre de problématiser un sujet en s'appuyant sur des recherches bibliographiques, d'élaborer un diagnostic orienté et d'émettre des propositions.

Remerciements

Je souhaite remercier les personnes qui m'ont aidé, entouré et conseillé tout au long de l'exercice qu'est le PIND.

Je remercie tout d'abord mon tuteur, Monsieur PEETERS Pierre, qui s'est rendu disponible pour répondre à mes questions et suivre l'avancée de mon travail. Son regard extérieur et ses conseils m'ont aidé lors de ma prise de décisions.

Je remercie ensuite Monsieur Pascal GRILLET, Technicien du SMIAC, qui a réfléchi à cette idée de projet que j'ai pu approfondir par la suite. Je le remercie également pour toutes les informations qu'il m'a transmises ainsi que ses conseils.

Je remercie également Monsieur PASQUALINI, Président de l'AAPPMA du Haut Chéran, de m'avoir accordé de son temps pour répondre à mes questions concernant le plan d'eau du Châtelard.

Je tiens également à remercier Monsieur Sylvain PELLERIN, responsable de l'antenne des Bauges du service des Eaux pour m'avoir accordé un rendez-vous pour discuter de la problématique des pollutions du plan d'eau.

Je tiens aussi à remercier les personnes et organismes ayant pris le temps de répondre à mes mails ou appels téléphoniques, en particulier les Mairies du CHATELARD et de LESCHERAINES, Monsieur MERLIN, Conseiller municipal de LESCHERAINES, Monsieur Simon DUPONT VIEUX, Gérant des activités nautiques de la base de loisirs, et Monsieur COLLET du bureau d'études AH2 ainsi qu'un technicien d'AQUATERRA.

Je remercie également Madame BOISNEAU et Madame GRELLIER d'avoir pris le temps de répondre à mes questions concernant mon PIND à la fin des séances de cours d'hydrologie.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis qui m'ont encouragé et soutenu durant l'élaboration de mon PIND.

Table des matières

Avertissement	1
Remerciements	2
Introduction.....	5
I-Présentation du territoire étudié.....	7
I.1. Localisation du site.....	7
I.2. Le Chéran, rivière emblématique du territoire de Savoie	8
I.3. Historique du plan d'eau.....	9
I.4. Usages du lac et réglementation.....	10
I.4.1.Promenades autour du lac.....	10
I.4.2. La pêche en réserve active	11
I.4.3. La catégorisation du plan d'eau.....	12
I.5. Contexte de l'élaboration du sujet	13
II. Les caractéristiques du site	14
II.1. Risques naturels	14
II.1.1. Le risque inondation	14
II.1.2. Le gonflement d'argile.....	14
II.2. Réglementation applicable au site de projet	15
II.2.1. Le Plan local d'urbanisme	15
II.2.2. Situé au plein cœur du Parc Naturel Régional des Bauges.....	16
II.2.3. Présence d'une biodiversité importante	16
II.3. Géologie du site	17
II.4. Le plan d'eau du Châtelard	18
II.4.1. Présentation générale	18
II.4.2. Alimentation du lac.....	19
II.5. Problèmes identifiés	23
II.5.1. Un exutoire perfectible.....	23
II.5.2. Eutrophisation du plan d'eau	26
II.5.3. Bilan sur les problématiques identifiées	28
III. Projet d'aménagement.....	29
III.1. Aménagement d'une rivière artificielle	29
III.1.1. Présentation générale du projet.....	29
III.1.2. Dans quel contexte ?	29
III.1.3. Soumission du projet à l'application de la loi sur l'eau	30

III.1.4. Réalisation du projet.....	31
III.1.5. Bilan du projet	40
III.2. Enrayer le processus d'eutrophisation	41
III.2.1. Présentation générale	41
III.2.2. Contextualisation.....	41
III.2.3. Des radeaux végétalisés	41
III.2.4. Des plantes épuratrices sur les berges.	43
III.2.5. Bilan des sous projets pour lutter contre l'eutrophisation	44
III.3. Mise en place d'un panneau pédagogique	45
III.4. Modélisation d'ensemble et estimation global des coûts	46
IV. Conclusion.....	47
Bibliographie / webographie	49
Fiches de lecture n° 1	51
Fiche de lecture n°2.....	53
Annexes	54
Table des figures.....	62
Table des tableaux.....	63
Table des Annexes.....	63

Introduction

L'eau est un élément omniprésent sur terre étant donné qu'elle recouvre 70% de la surface de la planète [1] ; néanmoins, la quantité d'eau douce ne représente que 2.5 %. Cette molécule est indispensable à la vie, elle permet la survie et le développement des espèces mais elle assure aussi de nombreuses fonctions supplémentaires. Elle est l'élément de base pour la formation des milieux aquatiques, dépendant les uns des autres à travers le cycle de l'eau. Ces milieux sont constitués d'un ensemble d'êtres vivants et d'éléments non vivants. Il est nécessaire de préserver ces ressources afin de ne pas modifier les processus existants.

L'eau et les milieux aquatiques sont soumis à de nombreuses pressions. En effet, la demande en eau croît dans un contexte de population grandissante et consommatrice de ressources. Cela n'est pas sans conséquences. En effet, il n'est pas rare d'utiliser de manière abusive cette ressource, engendrant parfois des pénuries d'eau. De plus, elle est soumise à de nombreuses pollutions (organiques, industrielles ou agricoles) qui se retrouvent par la suite dans les milieux naturels.

De même, les milieux aquatiques ont souvent été malmenés et modifiés pour différents usages tels que l'extraction de granulats, la navigation, la production d'énergie ou la construction d'habitations. Cela a conduit à une diminution de leur surface, de leur qualité et il y a eu une fragmentation des milieux causant une perte de biodiversité.

Depuis le siècle dernier, il y a une prise de conscience vis-à-vis de l'impact des activités humaines sur l'environnement d'où l'apparition de nombreuses mesures et lois. Actuellement, les exigences réglementaires des différentes lois et l'apparition de nouveaux outils tels que la Tram verte et bleu contribue à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces et au bon état écologique des masses d'eau. Cependant la transition vers des pratiques plus respectueuses et l'atteinte des différents objectifs s'inscrivent dans le temps.

Le site étudié est situé en Région Rhône-Alpes dans le département de la Savoie sur la commune du Châtelard, commune rurale de moins de 1000 habitants. Cette commune est située au cœur du parc naturel régional des Bauges et est entourée de villes dynamiques telles qu'Annecy ou Chambéry. Le tourisme, l'agriculture, la filière bois sont les activités principales du parc naturel régional.

Cette commune est traversée par le Chéran, rivière sauvage emblématique de la région. Au niveau de notre secteur d'étude, le Chéran divaguait dans le passé entre de nombreux îlots ayant donné à ce secteur le nom des « îles du Chéran ». Dans les années 1980, il y a eu d'importantes extractions de granulats causant des modifications du tracé du cours d'eau et laissant apparaître de grosses fosses d'extractions. Ces carrières ont par la suite été remplies d'eau afin de créer des lacs, pratique courante pour redonner vie aux carrières et dynamiser une zone. Des digues ont été construites pour les protéger de la rivière. A présent, il est possible de rencontrer quatre plans d'eau répartis sur les communes de Lescheraines, du Châtelard et de la Motte en Bauges. Il s'est développé autour de ces lacs une réelle activité touristique puisqu'une base de loisirs a vu le jour sur Lescheraines et qu'il est possible de se rendre rapidement sur les autres lacs pour pratiquer des activités telles que la promenade ou la pêche.

Ce secteur a été renaturé dans les années 2010 par le syndicat mixte interdépartemental d'aménagement du Chéran (SMIAC) suite aux constats des conséquences des extractions (chenalisations et incisions du lit).

Lors de cet exercice, il a été étudié le plan d'eau du Châtelard afin d'apporter des informations au SMIAC car peu d'études ont été réalisées sur ce dernier. Des pistes d'aménagement ont été proposées afin d'améliorer le fonctionnement de ce dernier. Néanmoins avant toute chose, il a été nécessaire de faire un état des lieux pour identifier des problématiques dans le but de proposer des solutions.

Il sera, dans une première partie, présenté le site d'étude de manière générale ainsi que ses particularités. Ensuite, la présentation s'axera de manière plus précise sur le site, de manière à comprendre son fonctionnement ce qui nous permettra d'identifier des problématiques.

En effet, il a pu être dégagé deux situations perfectibles. Elles concernent l'exutoire du plan d'eau qui est un obstacle à la libre circulation des espèces et un problème d'eutrophisation du plan d'eau.

Suite à ces constats il sera, en dernière partie du rapport, présenté les solutions pour améliorer la situation. Cette partie constitue la phase projet. Il sera proposé, dans un premier temps, de créer un ruisseau fonctionnel à la place de la buse et, dans un second temps, d'implanter des radeaux végétalisés et des plantes filtrantes en bordure de lac dans le but de ralentir le processus d'eutrophisation.

I-Présentation du territoire étudié



Figure 1 : Localisation du site d'étude à différentes échelles.

Auteur : Aymeric LE CAVIL

I.1. Localisation du site

Le site d'étude que j'ai choisi se situe sur la commune du Châtelard en Bauges qui appartient au département de la Savoie, localisé à l'Est de la France dans la Région-Rhône Alpes.

Le Châtelard en Bauges est une commune rurale qui compte 657 habitants ; elle a une superficie de 1800 hectares et son altitude moyenne est de 750 m. La commune abrite l'ancien siège de la communauté de communes du cœur des Bauges dont elle fait partie et qui regroupe 14 communes.

Ces communes font partie d'une zone de revitalisation rurale dont l'objectif est « *de compenser les difficultés que rencontrent certains espaces ruraux en matière d'attractivité démographique et économique* » [2].

Au 1er janvier 2017, Chambéry métropole et la communauté de communes Cœur des Bauges ont fusionné pour former la communauté d'agglomération Chambéry métropole - Cœur des Bauges, identité provisoire. Les élus ont tout de même souhaité maintenir des services pour garantir une proximité pour les habitants des Bauges.

Le Châtelard fait partie du parc naturel régional du massif des Bauges créé le 7 décembre 1995. Ce parc regroupe actuellement 65 communes situées entre les départements de la Savoie (46 communes) et la Haute-Savoie (19 communes). Il est situé entre six villes portes : Rumilly, Annecy, Chambéry, Aix-les-Bains, Albertville et Ugine. Le territoire des Bauges est caractérisé par un environnement préservé entouré d'agglomérations attractives. Le Châtelard est situé plus précisément dans le cœur du Parc naturel régional.

Le parc permet de mettre en valeur le patrimoine naturel et culturel de la région et de développer des activités telles que le tourisme.

L'agriculture, le tourisme, la filière bois et un tissu dense de PME-PMI constituent les principales ressources économiques du massif.

Le projet concernera le plan d'eau du Châtelard situé à proximité de Lescheraines et de la Motte en Bauges, communes limitrophes du Châtelard qui ont également des plans d'eau proches de celui du Châtelard.

I.2. Le Chéran, rivière emblématique du territoire de Savoie

La commune du Châtelard est traversée par le Chéran, une des rivières emblématiques de Savoie. Il prend sa source sous le versant sud de la pointe de Chaurionde (2173m), sur la commune de Cléry en Savoie et se jette dans le Fier au niveau de Rumilly après un parcours d'environ 54 kilomètres. Son bassin versant est de 427 km² [3].

Le massif des Bauges est caractérisé par une pluviométrie assez forte ; il y a une influence océanique avec une influence continentale marquée l'été. Le Chéran peut être qualifié de rivière torrentielle avec un régime nivo-pluvial [4]. Il est marqué par deux périodes de hautes eaux, en novembre-décembre avec un débit mensuel moyen de 8,12 et 8,25 m³/s et au printemps, de mars à mai avec un débit de 10,5 à 12,7 m³/s [5]. Les basses eaux sont en été, de Juillet à septembre, les débits mensuels moyens peuvent atteindre 3,59 m³/s voire beaucoup moins lors des forts étiages (station hydrologique : V1255010 - Le Chéran à Allèves pour un bassin versant de 249 km, données calculées sur 59 ans).

Cette rivière est relativement préservée, il n'y a qu'une microcentrale, aucun prélèvement n'est fait pour la fabrication de neige. Ses berges sont parfois peu accessibles ce qui lui a permis de conserver sur une partie de son linéaire ses caractéristiques naturelles. Le Chéran et ses affluents, exceptés le Dadon et les affluents du ruisseau des Eparis et de la Nephaz, sont classés en tant que réservoirs biologiques.

Cette rivière est d'ailleurs candidate au label « rivière sauvage » tout comme l'un de ses affluents, le Nant-d'Aillon, qui traverse également le Châtelard. Au niveau du Châtelard il est alimenté en rive droite par le ruisseau du Petit, le Nant des Granges et en rive gauche par le Nant de Montlardier et le Nant d'Aillon.

Le Chéran est très apprécié des randonneurs et des pêcheurs. Il longe les plans d'eau des communes du Châtelard, de Lescheraines et de la Motte en Bauges et marque une délimitation communale.

I.3. Historique du plan d'eau

Auparavant, le plan d'eau du Châtelard, tout comme celui de Lescheraines et la Motte-en-Bauges, n'existait pas comme le démontre le Scan historique de 1950 de la figure 2. En effet l'on peut constater que l'emplacement actuel des lacs correspond à l'ancien tracé du lit du Chéran. C'est particulièrement visible pour le plan d'eau du Châtelard avec la comparaison du lit du Chéran entre 1948 et 2004.

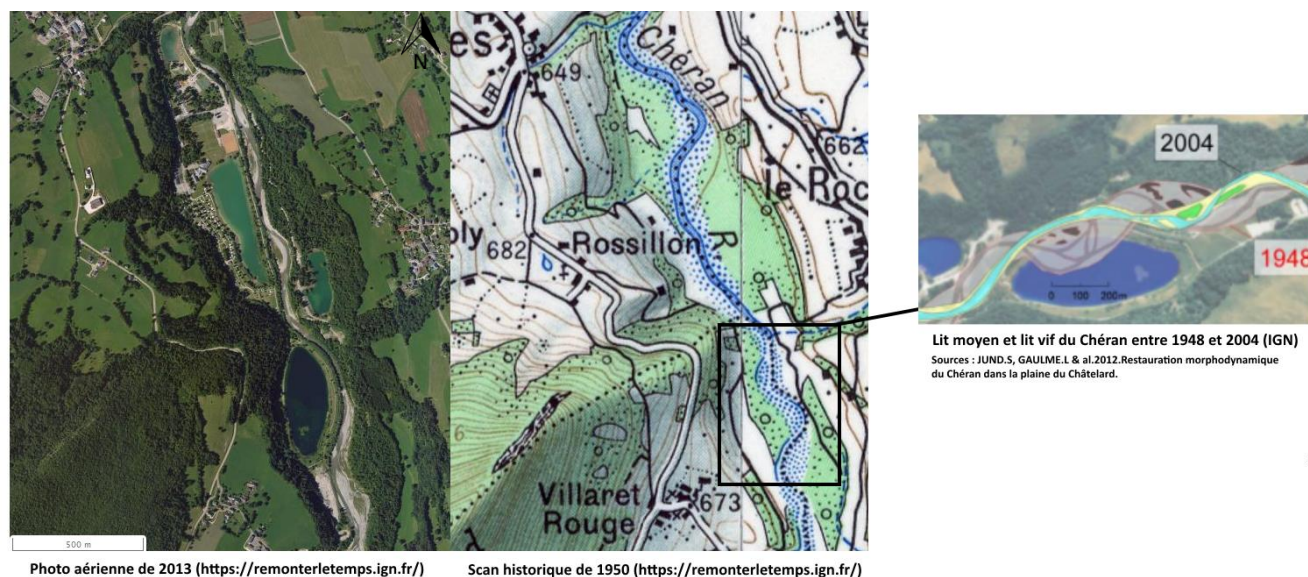


Figure 2 : Lit moyen et lit vif du Chéran entre 1948 et 2013.
Auteur : Aymeric LE CAVIL

Dans la plaine du Châtelard, il y avait autrefois de l'extraction de granulats (sable et gravier). Cela formait des carrières à ciel ouvert. En effet, entre 1972 et 1983, ce n'est pas moins de 1 125 000 m³ de granulats qui ont été extraits du lit du Chéran.

Après la période d'extraction, les municipalités ont décidé de créer des plans d'eau à la place des fosses d'extractions ; des digues ont été réalisées pour permettre l'extraction mais aussi pour protéger les nouveaux plans d'eau. Ces plans d'eau sont donc d'anciennes carrières alluviales creusées dans le lit majeur du Chéran [6]. Ils appartiennent aux communes.

L'extraction de granulats n'a pas été sans conséquence et a modifié la dynamique sédimentaire et a conduit à une chenalisation du cours d'eau, une forte incision du lit et une homogénéisation de l'habitat. C'est pourquoi, en 2010, le SMIAC a lancé des travaux sur cette zone pour restaurer la « bande active » du Chéran suite aux constats des impacts de l'extraction de granulats.

Comme indiqué précédemment, il y a, à côté du plan d'eau du Châtelard, deux plans d'eau sur la commune de Lescheraines et un sur celle de la Motte en Bauges. Une base de loisirs attractive s'est développée sur les plans d'eau de Lescheraines ainsi qu'un camping qui n'accueille pas moins de 20 000 nuitées par saison (Lionel PENAUD, gérant du camping des îles du Chéran). Elle propose de nombreux loisirs tels que la baignade, des activités nautiques ou la pêche. Les plans d'eau de la Motte en Bauges et du Châtelard sont réservés à la pêche.

Le plan d'eau du Châtelard est donc situé proche d'une base de loisirs attractive, comme la montre la figure 3. La base de loisirs fait partie de l'ensemble de lacs que l'on nomme « Les îles du Chéran ». Ce nom a été donné à cet endroit car avant la création des lacs, le Chéran disposait d'un large lit et pouvait divaguer ce qui formait une succession de petits îlots.



Figure 3 : Les plans d'eau des îles du Chéran.
Source : Géoportail. Auteur : Aymeric LE CAVIL

I.4. Usages du lac et réglementation

I.4.1. Promenades autour du lac

Il est possible d'effectuer le tour du plan d'eau du Châtelard à pied, en vélo ou à cheval ; des aménagements ont été réalisés tels que des bancs ou des pontons permettant de s'y arrêter. Il est accessible à partir de la base de loisirs ou un parking situé au Sud du plan d'eau.

En 2012, a été aménagée «la promenade savoyarde de découverte ». Cette promenade, le long du Chéran et des plans d'eau, est l'occasion de découvrir l'histoire originale du massif des Bauges. Cette balade s'effectue avec un livre audio et propose deux itinéraires :

- La promenade confort débutant à la base de loisirs de Lescheraines d'une durée de 1h30 et accessible à tous (familles, personnes à mobilité réduite).

- La promenade liberté au départ du parking de Pissieu : il faut prévoir 2h30 pour cette dernière [7].

Pour ces deux balades, il est possible de partir du plan d'eau de Lescheraines ou du Châtelard ; de la signalétique a été installée le long des plans d'eaux (images, formes) ainsi que des bornes audio.

I.4.2. La pêche en réserve active

Ce plan d'eau est connu et apprécié des pêcheurs puisqu'il permet de pratiquer la pêche dans un cadre sauvage et sur des poissons n'étant pas issus d'empoisonnements réguliers. En effet, il n'y a pas eu de déversement de poissons depuis 1999. De plus, il est longé par le parcours no-kill du Chéran et une « cabane des pêcheurs » a été construite au sud du plan d'eau.

Ce plan d'eau est géré par l' AAPPMA du Haut-Chéran ; elle ne paie pas de loyer mais doit entretenir les berges. Il est interdit à la baignade et aux activités nautiques.

Une de ses particularités est qu'il abrite une population sauvage fonctionnelle de truites fario (*Salmo trutta*. Linnaeus, 1758) remontant du Chéran. (Monsieur PASQUALINI, président de l'AAPPMA du Haut-Chéran et le SMIAC)

Il semble que ces truites arrivent à établir leur cycle biologique puisqu'il y a la présence de frayères à l'arrivée du ruisseau et au niveau de l'exutoire. Cependant, il n'existe pas d'analyses génétiques sur les truites du plan d'eau pour le prouver scientifiquement, cette hypothèse se repose donc sur des faits et des observations.

Dans le passé, il y avait la reproduction de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*.Walbaum, 1792). Il y a une vingtaine d'années, des corégones ont été introduits (souches inconnues) et y sont toujours présents, ce qui montre qu'ils se sont adaptés et reproduits car leur longévité est d'environ 10 ans maximum [8]. Ce plan d'eau est qualifié de plan d'eau Salmonicole. Néanmoins, il abrite également quelques autres espèces de poissons telles que :

- Perches communes (*Perca fluviatilis*. Linnaeus, 1758)
- Perches soleil (*Lepomis gibbosus*. Linnaeus, 1758) (espèce invasive)
- Gardons (*utilus rutilus*. Linnaeus, 1758)
- Goujons : (*Gobio gobio*.Linnaeus, 1758)
- Vairons : (*Phoxinus phoxinus*. Linnaeus, 1758)
- Carpes communes (*Cyprinus carpio*. Linnaeus, 1758)
- Carpes miroirs (*Cyprinus carpio carpio*. Linnaeus, 1758)

Les carpes y sont représentées de manière anecdotique ; il n'y a que quelques individus. Les perches ont été introduites par des personnes extérieures et non par l'AAPPMA.

Ce plan d'eau appartient au domaine privé et est classé en 1^{ère} catégorie piscicole.

« La catégorie piscicole est un classement juridique des cours d'eau en fonction des groupes de poissons dominants. Un cours d'eau est déclaré de première catégorie lorsque le groupe dominant est constitué de salmonidés » [9].

L'ouverture générale de la pêche est du 11 mars au 17 septembre. La réglementation est spécifique au plan d'eau puisqu'il est en réserve active, c'est-à-dire qu'il n'est possible de pêcher qu'à une seule canne et de prélever qu'une seule truite de 35 cm minimum par jour et par pêcheur. Il est également interdit de marcher dans l'eau sur les zones de frayères.

Il n'y a pas d'empoissonnement régulier. Seuls des alevinages de certaines espèces ont été effectués dans le passé. L'AAPPMA a délivré en 2015, 415 cartes d'adhérents (cartes annuelles) et 435 cartes touristiques. Tous ces pêcheurs ne sont pas forcément allés sur le plan d'eau car la carte permet également de pêcher le Haut Chéran.

Le graphique ci-dessous montre l'activité de pêche sur les plans d'eau de Lescheraines, le Châtelard, la rivière et les activités de la base de loisirs (activités sur le site).

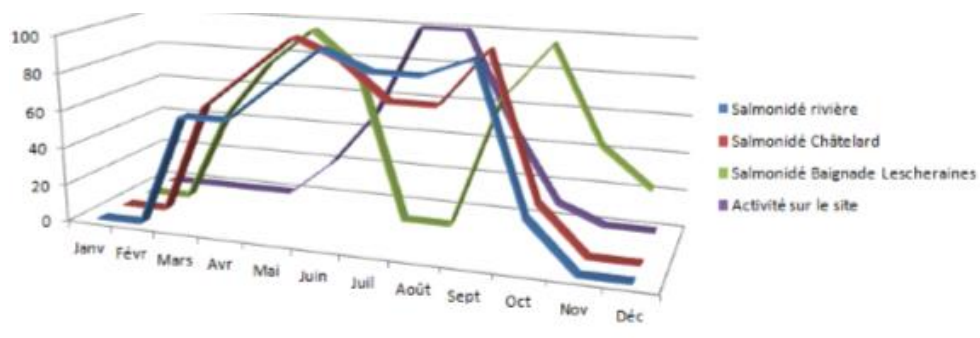


Figure 4 : L'intérêt de la pêche du point de vue de la saisonnalité

Source : EURL A2H. 2016. AAPPMA du Haut-Chéran Mission d'expertise pour la valorisation touristique des lots de pêche de l'association, notamment des plans d'eau.

On voit que l'activité de pêche permet une fréquentation d'avant et d'après saison estivale. L'attractivité de la base loisirs entre juin et octobre correspond à un creux pour l'activité de pêche. Néanmoins, les personnes attirées par le site de Lescheraines sont à proximité du plan d'eau du Châtelard et peuvent s'y rendre facilement pour effectuer des promenades.

Il semble y avoir une complémentarité des activités grâce aux milieux variés du secteur. Il faut tout de même retenir que les activités principales du lac du Châtelard sont les balades ainsi que l'activité de pêche.

I.4.3. La catégorisation du plan d'eau

Il existe plusieurs catégories de plans d'eau qui peuvent être différenciés selon différents critères tels que :

- Les configurations naturelles du site
- La configuration des ouvrages permettant l'existence de la retenue
- L'alimentation de l'étang, son usage et sa date de création

Ces plans d'eau peuvent avoir des conséquences sur les milieux aquatiques, leur équilibre et sur la sécurité des biens et des personnes.

Les plans d'eau sont des systèmes complexes auxquels s'applique une réglementation particulière mise en place et appliquées grâce à différents acteurs :

- Police de l'Eau (article L.214-1 à 214-3 du Code de l'Environnement) : pour la maîtrise des pollutions et pour la sécurité des biens et des personnes.
- Police de la Pêche, (article L.430-1 à L.438-2 du Code de l'environnement) : régit la propriété du poisson, le droit de pêche, l'introduction d'espèces piscicoles.

Il existe également un certain nombre de Lois telles que la Loi Montagne (article L.145-5 du Code de l'Urbanisme) stipulant une protection des rives des plans d'eau dans un rayon de 300m ou encore des règlements locaux tels que les plans de prévention des risques.

Selon la Police de la pêche, il y a une différenciation faite entre « eaux closes » et « eaux libres ». Le plan d'eau du Châtelard est classifié en tant qu'eau libre non aménagée.

Une eau libre est « *un cours d'eau, un plan d'eau naturel ou artificiel établi sur cours d'eau ou sur source, ne faisant pas obstacle à la libre circulation des poissons.* » [10]. Les batraciens et les crustacés sont également inclus dans cette définition. Le poisson n'appartient pas au propriétaire du terrain, le propriétaire riverain doit acquitter d'une taxe piscicole pour la pratique de la pêche.

Les actes consistant à relâcher du poisson ou vidanger le système doivent être réalisés avec le concours d'une association agréée de pêche et de protection du milieu aquatique (AAPPMA).

De plus les « *ouvrages de prise d'eau et de trop-pleins ne doivent pas comporter de grilles ou équipements empêchant la libre circulation du poisson, entre le plan d'eau et le milieu à l'aval et à l'amont.* » [10].

I.5. Contexte de l'élaboration du sujet

Lors de cet exercice, il sera réalisé un état des lieux sur une des gravières des « îles du Chéran » afin de pointer les aspects pouvant être améliorés. Il sera également pris en compte le Chéran situé à proximité. Les objectifs du projet ne seront pas limités au plan d'eau car ils auront un impact direct sur le cours d'eau.

C'est avec le Syndicat Mixte Interdépartemental d'Aménagement du Chéran (SMIAC) que le sujet a été élaboré. Ce syndicat regroupe 35 communes des 39 communes de Savoie et Haute-Savoie situées sur le bassin versant du Chéran. Cette structure gère le bassin versant du Chéran. Les travaux précédents se sont portés sur l'amélioration de la qualité de l'eau, la restauration morphologique du Chéran, l'entretien des berges et du lit des cours d'eau ainsi que la mise en valeur des milieux aquatiques. Actuellement le SMIAC continue ses efforts tout en prenant en compte de nouvelles problématiques telles que la lutte contre les pollutions, le suivi de la ressource ou la préservation de l'espace de liberté des cours d'eaux.

Les buts de cet exercice sont :

- Apporter des informations/données, car très peu d'études ont été faites sur le site
- Pointer les problèmes existants, même si les études ne sont pas présentes
- Proposer un aménagement permettant :
 - Une continuité écologique entre le plan d'eau et le Chéran
 - La préservation naturelle du milieu et des espèces
 - Une valorisation pédagogique
 - Une amélioration paysagère

Suite à une étude réalisée sur les plans d'eau, il avait été émis comme hypothèse de réaliser un ruisseau à la place de la buse enterrée : c'est donc cette piste qui sera exploitée lors de ce projet. Ce projet est une volonté du SMIAC et du Président de l'AAPPMA du Châtelard, ce travail permettant d'avoir une ébauche d'idées sur le projet et les pistes envisageables.

II. Les caractéristiques du site

II.1. Risques naturels

L'étude des risques sur la commune est essentielle afin de savoir à quelles contraintes est soumis notre site d'étude. Cela permet de mieux les appréhender et de les prendre en compte lors des aménagements futurs.

Le site du projet est soumis majoritairement à des risques sismiques, des risques d'inondation et des risques de gonflement d'argile.

II.1.1. Le risque inondation

Les risques d'inondation par débordement du cours d'eau semblent limités en raison de la digue importante et des enrochements protégeant le plan d'eau.

Cependant, comme le montre la figure 5, le risque d'inondation par remontées de nappes dans les sédiments est de fort à très fort en raison de la proximité du plan d'eau avec le réseau hydrographique.



Figure 5 : Zonage du risque inondation.
Source : Géorisques. Auteur : Aymeric LE CAVIL

II.1.2. Le gonflement d'argile

Le site de projet est concerné par le gonflement d'argile ; cependant l'aléa est faible ce qui ne semble pas empêcher les aménagements à cet endroit.

La carte ci-contre montre la zonation de l'aléa ainsi que l'existence de cavités souterraines. Il existe un risque si des personnes tombent dedans. Il en existe 3 à proximité de notre site ; cependant les promeneurs autour du lac ne sont pas concernés. L'eau s'infiltrant dans ces cavités forme des résurgences plus ou moins importantes.

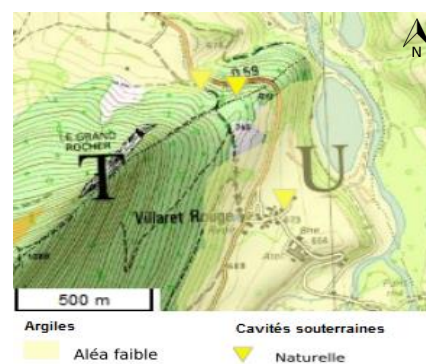


Figure 6 : Risques de gonflement d'argile et de cavités au.
Source : Géorisques
Auteur : Aymeric LE CAVIL

II.2. Règlements applicable au site de projet

II.2.1. Le Plan local d'urbanisme

Notre site d'étude est situé dans une zone N (figure 7), correspondant à « une zone naturelle et forestière, équipée ou non, qu'il convient de protéger en raison de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt esthétique, historique ou écologique » [11]. Il fait plus précisément partie d'une zone classée en Nt ce qui signifie que c'est une zone naturelle à vocation touristique, sportive et de loisirs. Le site est à proximité d'une zone agricole (A) et de zones urbaines (Ua, Ue, Ud).

La réglementation pouvant être retenue selon le PLU est que seuls les installations, équipements et constructions nécessaires à la vocation sportive et de loisirs sont autorisés.

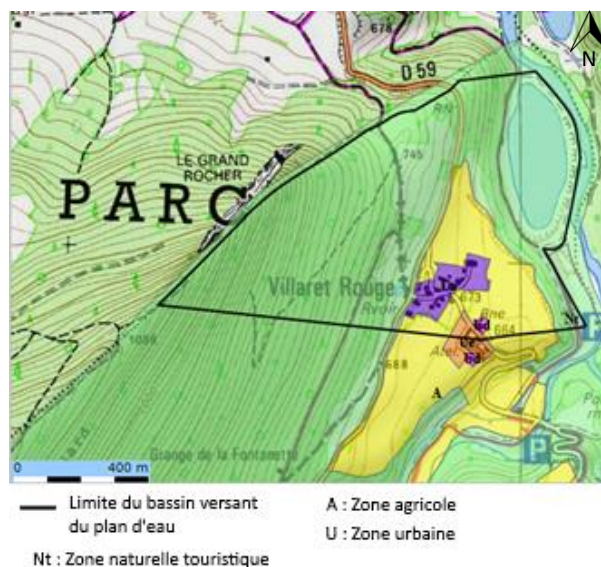


Figure 7 : Zonage du PLU à proximité du plan d'eau.

Source : Observatoire des Territoires de la Savoie

Auteur : Aymeric LE CAVIL

Une zone humide est identifiée sur le site, elle se nomme « L'île » ; elle fait 13.56 hectares et correspond au lit du Chéran. Elle est visible sur la figure 8 et a été délimitée selon l'hydrologie (balancement des eaux, crues). Elle a des fonctions de régulation hydraulique. Elle ne fait l'objet d'aucun statut spécifique de réglementation si ce n'est avec le PLU. Il est inscrit dans le PLU du Châtelard qu'au titre de l'article L.123.1.7. du Code de l'Urbanisme « Les occupations et utilisations du sol néfastes au caractère des zones de marais, en particulier les mises en culture ou en boisement ainsi que les interventions de toute nature contribuant à l'assèchement, sont interdits ainsi que les drainages et remblaiements sauf liés à une gestion écologique justifiée » [ibid]. Il est donc important que le futur aménagement ne perturbe pas le fonctionnement écologique de cette zone humide.

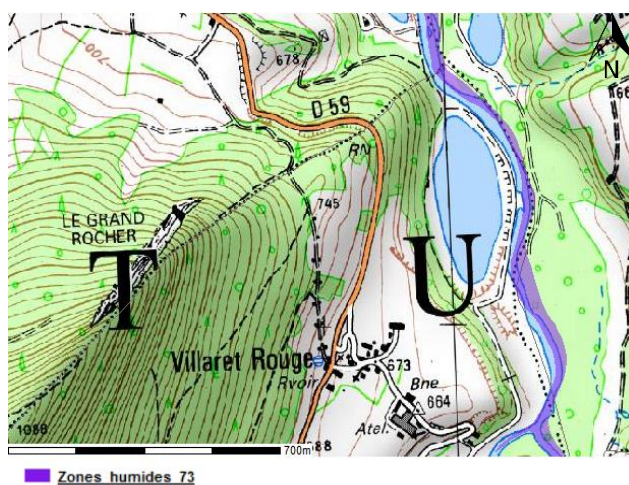


Figure 8 : Cartographie de la zone Humide à proximité du plan d'eau.

Source : carmen.application.developpement-durable.gouv.fr.

Auteur : Aymeric LE CAVIL

II.2.2. Situé au plein cœur du Parc Naturel Régional des Bauges

Comme vu précédemment, le Châtelard appartient au parc naturel des Bauges mais aucune nouvelle réglementation n'est créée par son existence ; elle relève de l'Etat ou des collectivités. Le parc peut tout de même avoir des accords avec la commune (réserves, sites classés). Le Parc naturel régional des Bauges dispose d'une charte constitutive dont les orientations principales sont de mieux accueillir le public sans oublier de préserver le patrimoine, les paysages en contribuant au développement économique des territoires. Les propositions de la charte abordent trois domaines : les hommes, le cadre de vie et les activités.

II.2.3. Présence d'une biodiversité importante

Le Châtelard comptabilise plus de 76 % de forêts et milieux semi-naturels sur son territoire (Corine Land Cover 2012), et abrite une biodiversité importante. Certaines zones naturelles sont par conséquent classées comme il est possible de le voir sur la carte en annexe 1.

En effet il y a zone NATURA 2000, deux Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type 1 ; « Plateau du Margeriez », « Colombier » et deux ZNIEFF de type 2 ; « Massifs orientaux des Bauges » et « Chainon occidental des Bauges ». Il y a également 6 zones humides identifiées.

Il semble important de rappeler à quoi correspondent ces différentes zones :

- Les sites NATURA 2000 sont des sites naturels ou semi-naturels de l'Union Européenne ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelles qu'ils contiennent.

- Les ZNIEFF de type I sont des secteurs de grand intérêt biologique ou écologique.

- Les ZNIEFF de type II sont des grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes.

Ces classifications ont pour objectif la conservation des aires concernées afin de maintenir la diversité biologique des milieux tout en prenant en compte les exigences économiques dans une logique de développement durable

Le site d'étude est situé proche de la ZNIEF de type 1 du plateau du Margériaz et de la ZNIEFF de type 2 du « Chainon occidental des Bauges » qui s'arrête au niveau de la D59.

Cependant, comme le montre la carte, le site d'étude est proche des zones citées mais il n'en fait pas partie ce qui n'implique pas la réglementation applicable à ces zones.

Néanmoins, la présence de ces zones informe que nous sommes à proximité d'espaces présentant de fortes capacités biologiques et en bon état de conservation, reflet du patrimoine naturel important de la commune.

La nature est un système complexe en perpétuelle interaction et ne semble pas s'arrêter à une frontière bien délimitée. C'est pourquoi il semble nécessaire de prendre en compte cette biodiversités et les aspects environnementaux dans les aménagements futurs afin d'avoir le moins d'impacts possibles.

II.3. Géologie du site

Le massif subalpin des Bauges est fortement karstifié ; il contient beaucoup de systèmes karstiques. Un relief est dit karstique lorsque son substrat est composé de karst ; le karst est un massif calcaire dans lequel l'eau a creusé de nombreuses cavités. On peut trouver dans les reliefs karstiques des formes géographiques particulières telles que les dolines ou encore les résurgences.

Le Châtelard est lui situé sur un verrou glaciaire qui est une colline rocheuse constituée d'une roche suffisamment dure pour que l'érosion sous-glaciaire n'ait pu la faire disparaître [12]. Le Châtelard marque une transition entre les distinctions géographiques des « Bauges devant » et « Bauges derrière » visibles sur la figure 9.

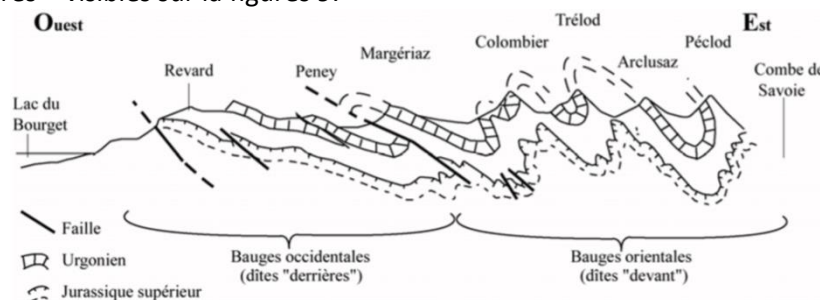


Figure 9 : Coupe simplifiée du massif des Bauges, (d'après M. Gidon (<http://www.alpes-geol.fr>) in Denavit 2005).

Le Margériaz est un montage située proche du site d'étude. Elle est constituée d'une vaste dalle calcaire inclinée vers l'Est. Une station de ski y est installée sur son sommet ; cependant la présence d'un réseau karstique en profondeur capte les eaux de surface, ce qui limite le développement d'habitations sur le site [13]. L'alimentation en eau se fait par drain endokarstique (faible débit) et chroniquement pollué pour alimenter les sanitaires des bâtiments d'accueil. Il est important de savoir que les eaux souterraines sont sensibles aux pollutions.

La figure 10 nous montre la localisation des différents Karst du PNR. La zone jaune prend en compte notre zone d'étude ainsi que le Mont Margériaz et ses écoulements sous terrain.

On constate qu'il y a 3 flèches représentant les sens de drainages.

On voit qu'une se dirige vers la cascade du Pissieu située à quelques kilomètres du plan d'eau du Châtelard ; elle a pour origine les eaux s'étant infiltrées dans le Margériaz et alimente le Nant d'Aillon, affluent du Chéran.

Il y a deux autres flèches qui semblent s'orienter à proximité des lacs du Châtelard et de Lescheraines, il y a un point rouge « Lot du Bois » indiquant la présence d'eau.

Il peut être émis l'hypothèse que des résurgences alimentent les plans d'eau notamment celui du Châtelard.

Au niveau du Chéran et des plans d'eau, le sol est composé en surface essentiellement d'alluvions, milieux poreux permettant l'infiltration de l'eau, et, en profondeur, de marne.

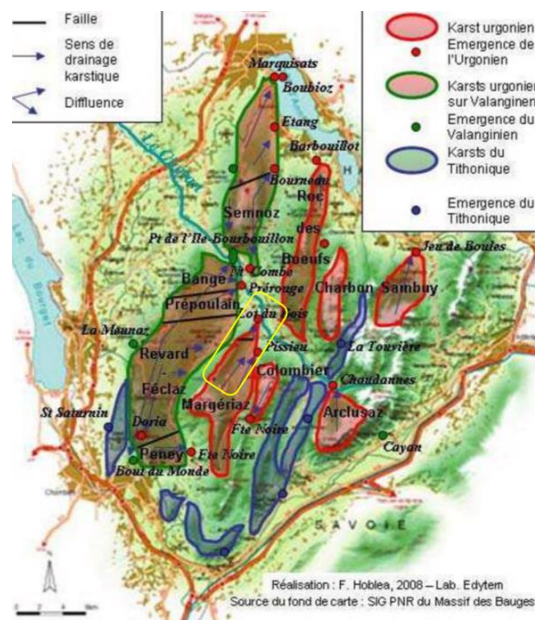


Figure 10 : Cartographie des Karst des Bauges.
Sources : SIG PNR Du Massif des Bauges.
Auteur : F.Hoblea 2008

II.4. Le plan d'eau du Châtelard

II.4.1. Présentation générale

Le plan d'eau fait environ 430 mètres de long pour une largeur maximale de 178 mètres. Sa superficie est de 5,64 hectares, il abrite une petite île d'environ 500 m² dans sa partie Sud.

Je n'ai pas réussi à obtenir de documents sur la profondeur du lac ; cependant il est possible de faire une hypothèse sur sa profondeur moyenne. Une étude réalisée en 1986 sur le plan d'eau de Lescheraines avait estimé la profondeur moyenne à 3.85 mètres durant les basses eaux et 4.85 mètres pendant les hautes eaux. Le plan d'eau du Châtelard est plus profond que celui de Lescheraines. Monsieur PASQUALINI estime sa profondeur entre 5 et 6 mètres. On retiendra donc une valeur moyenne théorique de 5.5 mètres de profondeur et donc son volume est estimé à $3.1 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Un talus est visible sur les berges du lac, comme le montre la flèche n°1 de la figure 11. Sur celui-ci repose le chemin. Côté Est, un deuxième talus surplombant le lac est visible (flèche n°2). En effet, le lac est entouré sur ce côté par une digue permettant une protection vis-à-vis du Chéran, digue qui est renforcée par des blocs au niveau Nord en arrivant sur le site, comme le montre la photo A. Le long du Chéran, il y a également des blocs (cf photo B). La hauteur de la digue semble augmenter progressivement du Nord vers le Sud.



Figure 11 : Les protections du plan d'eau du Châtelard face au risque d'inondation
Source : Aymeric LE CAVIL

II.4.2. Alimentation du lac

II.4.2.1. Apports souterrains

Ce plan d'eau semble alimenté par la nappe du Chéran. En effet, il est possible de penser cela car ce plan d'eau était situé auparavant dans le lit majeur du Chéran et qu'il est actuellement très proche de ce dernier.

De plus, son altitude est en dessous de celle du lit du Chéran. J'ai réalisé des mesures afin de prouver l'hypothèse. J'ai effectué des profils altimétriques sur Géoportail. J'ai procédé comme sur la figure 12.

-Étape 1 : mesurer la distance du lac et diviser en 10 pour avoir 10 mesures + 1 au point 0

-Étape 2 : mesurer un azimuth de 90 ° à partir du point mesuré en direction du Chéran.

-Étape 3 : faire le profil altimétrique à partir de la Berge et sur une distance de 60 mètres en direction du cours d'eau.

J'ai répété 11 fois la mesure pour trouver qu'en moyenne le plan est situé 4 mètres en dessous du lit du Chéran et ce, sans compter la profondeur du lac.

Il est donc possible d'affirmer l'existence d'échanges d'eau entre le plan d'eau et la nappe d'accompagnement du Chéran. Il semble également y avoir des échanges d'eau à travers la digue car cette dernière n'est pas étanche ce qui a été confirmé pour le plan d'eau de Lescheraines durant l'étude réalisée en 1986.

Comme évoqué plus tôt dans le diagnostic, il y a la présence d'un réseau karstique en profondeur et donc la présence de résurgences. Selon Monsieur GRILLET et Monsieur PASQUALINI, ce plan d'eau serait alimenté par ces dernières. Une étude réalisée sur ce plan d'eau disait qu'il « *est alimenté par des sources et par des résurgences issues à priori d'un important réseau karstique lié au Nant d'Aillon et au Mont Margéraz* ».

Compte tenu de l'absence de données thermiques, de la composition de l'eau et de suivis par traçages sur cette zone il n'est pas possible d'affirmer scientifiquement cette hypothèse.

Ce lac gèle très rarement malgré des conditions rudes en hiver tandis que les autres plans d'eau gèlent. Il n'était pas gelé le 28/12/2016 lors de ma sortie terrain alors que les plans d'eau de Lescheraines l'étaient en quasi-totalité (95-100%). Cela laisse penser qu'il y a une certaine stabilité thermique au sein du lac qui pourrait être due à l'apport des eaux souterraines qui sont à une température stable.

La mesure du débit à l'exutoire était de 0.25 m³/s le 20/02/2017 alors que l'apport du ruisseau semblait faible tout comme les infiltrations ce qui permet de penser que c'est la nappe du Chéran et/ou le réseau karstique qui alimentent en grande partie le lac.

A cela s'ajoute l'étude réalisée en 1986 sur le plan d'eau de Lescheraines où il avait été montré que 90% des apports du lac se faisaient par infiltrations (Chéran et nappe alluviale) alors qu'il est alimenté par 2 ruisseaux de plus gros débits que celui alimentant le Châtelard.

Cette constatation semble donc également valable pour le plan d'eau du Châtelard

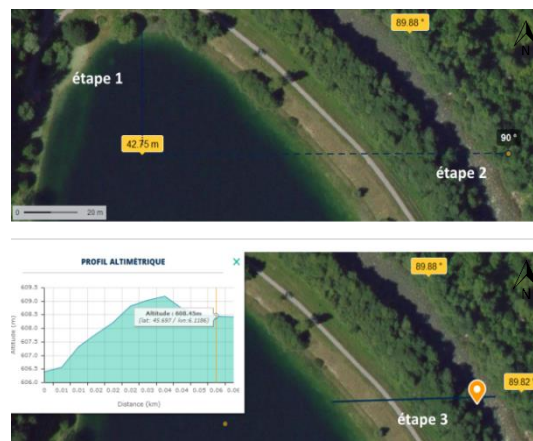


Figure 12 : Profil altimétrique du plan d'eau.
Source : Géoportail. Auteur : Aymeric LE CAVIL

II.4.2.1.1. Estimation des apports souterrains

En l'absence de mesures, il n'est pas possible de quantifier les apports par infiltration du Chéran et de la nappe alluviale ; cependant, il est possible de faire une estimation à partir des mesures de l'étude de 1986 pour le plan d'eau de Lescheraines (Annexe 2).

J'ai repris ces résultats pour estimer les apports par infiltration du plan d'eau du Châtelard.

J'ai émis l'hypothèse que les apports de nappes et par infiltrations étaient proportionnels au périmètre du lac.

J'ai réalisé des produits en croix en fonction des périmètres des deux plans d'eau et les apports pour celui de Lescheraines ce qui m'a donné ceux pour celui du Châtelard.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 1 : Calcul des apports avec les périmètres et les apports par périodes

	Maxima (9 mois)	Minima (3 mois)
Apport nappe + infiltration pour la période (m3)	5147226,778	218070,265
Q m3/ans	5365297,043	
Q m3/s	0,170	

La quantification des eaux en provenance des réseaux karstiques semble compliquée et en l'absence de données, nous ne pouvons faire aucun calcul.

II.4.2.2. Apports de « Surface »

Il existe également d'autres types d'alimentations qui sont répertoriés sur la figure 13.

Les numéros 1 et 3 sont visibles sur la figure 14 et sont des apports faits par infiltrations. En effet, à ces endroits de l'eau sort du sol et a érodé ce dernier. La zone numéro 1 semble correspondre aux infiltrations à travers la digue ou des eaux infiltrées par précipitations sur le talus. La zone numéro 3 correspond aux apports provenant de la zone en amont du lac.



Figure 14 : Photos des zones présentant des apports par Infiltrations, à gauche il y a la zone 1 et à droite la 3.
Source : Aymeric LE CAVIL



Figure 13 : Apports de « surface »
Source : Géoportail.
Auteur : Aymeric LE CAVIL

La zone numéro 2 correspond à un apport de la part d'un ruisseau que nous pouvons voir sur la figure 15.

Ce ruisseau n'apparaît pas sur Géoportail. Il provient du petit village que l'on peut voir sur la figure 13. Deux petites passerelles permettent de le franchir ; on constate sur la figure 15, image de gauche, qu'il y a un

ravinement important. De plus, la présence d'un cône de déjection côté lac met en évidence le transport de matériaux du ruisseau.



Figure 15 : Ruisseau alimentant le plan d'eau.
À gauche : En amont du lac. À droite : côté lac.
Source : Aymeric LE CAVIL

II.4.2.2.1. Estimation des apports de surface.

Il est possible de déterminer le bassin d'alimentation du lac afin de quantifier les apports en eau par an.

La délimitation a été faite à partir de Géoportail. Le Bassin versant a été estimé à 0.612 Km² comme le montre la carte ci-contre.

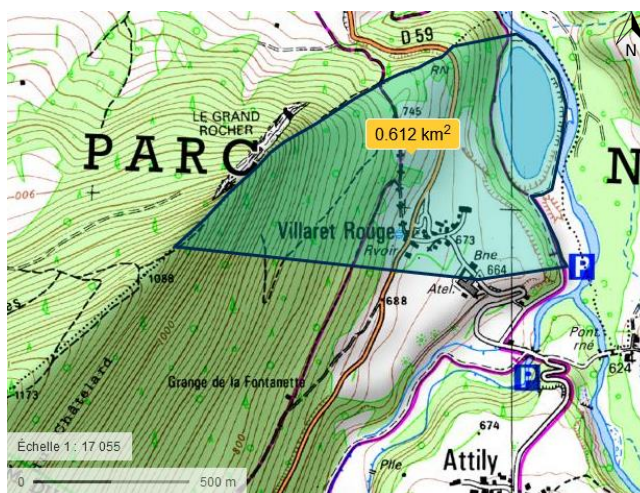


Figure 16 : Bassin versant du plan d'eau du Châtelard.
Source : Géoportail . Auteur : Aymeric LE CAVIL

J'ai ensuite procédé à une mesure des différents types de surfaces sur ce bassin versant dans le but d'estimer la quantité d'eau ruisselée dans le lac à partir des coefficients de ruissèlement de chacune des surfaces (*coefficients tirés des normes suisses SNV 640 351*).

La composition du sol de notre bassin versant est représentée par le graphique ci-dessous :

Type de couverture du Bassin d'alimentation du plan d'eau du Châtelard

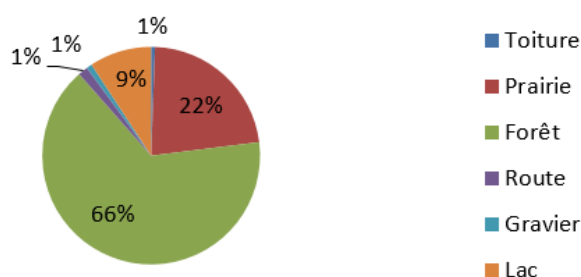


Figure 17 : Représentation des proportions des surfaces du bassin d'alimentation du plan d'eau.
Auteur : Aymeric LE CAVIL

On voit que les forêts représentent une part très importante de notre bassin d'alimentation, suivies par les prairies. Les surfaces imperméables sont peu représentées.

Les calculs sont les suivants :

Volume de Pluie totale = *Surface BV* × *Pluviométrie annuelle*

Volume ruisselé = *Coefficient ruissellement n* × *Surface n* × *Pluviométrie annuelle*

Il ne faut pas oublier d'ajouter la quantité de pluie qui tombe directement sur le plan d'eau. La pluviométrie annuelle retenue est de 1075.35 mm /ans. C'est une moyenne réalisée à partir des sites internet de météo city et de climate-data.org. Les coefficients de ruissèlements n'ont pas été choisis en fonction de la pente mais uniquement en fonction de la couverture du sol.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 2 : Les apports par ruissèlement

Apport par ruissèlement (m ³ /ans)	148956
Q m ³ /s	0,004723

Pour trouver l'évaporation du lac, il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres tels que les températures, le vent, la pression atmosphérique, l'humidité, la qualité et la profondeur du lac ainsi que la forme de la surface. Nous retiendrons la valeur qui avait été trouvée pour le plan d'eau de Lescheraines, c'est à dire 800 mm/an soit 3.5m³/H que nous appliquerons au plan d'eau du Châtelard.

Cela donne :

Tableau 3 : Pertes par évaporations

Evaporation (m ³ /H)	3,5
Evaporation (m ³ /ans)	30660

Le détail des calculs est consultable sur l'annexe n° 3.

II.4.2.3. Bilan hydrique

Tableau 4 : Bilan des apports et des pertes à partir des périmètres

Bilan des apports et des pertes	Maxima (9 mois)	Minima (3 mois)
Apport nappe + infiltration pour la période (m ³)	5147226,778	218070,265
Somme	5365297,043	
Apport totaux (nappe + infiltration + ruissèlement) m ³ /ans	5514253,488	
Bilan (Apports totaux -pertes par évaporations= Q (m ³ /ans))	5483593,488	
Q journalier (m ³ /j)	15023,544	
Q (m ³ /H)	625,981	
Q (m ³ /s)	0,174	

Les apports prennent en compte les apports par infiltrations calculés précédemment ainsi que l'eau ruisselée. Les pertes correspondent à l'évaporation du lac. Pour finir, en soustrayant les apports et les pertes on peut obtenir le volume transitant par l'exutoire ainsi que le débit journalier de l'exutoire.

Ces calculs ont été réalisés à partir d'hypothèses concernant une ancienne étude sur le plan d'eau voisin et à partir d'une seule mesure de débit et du peu de données disponibles. C'est pourquoi il faut prendre ces résultats avec recul car il y a des imprécisions, les calculs sont visibles en annexe n° 4.

II.5. Problèmes identifiés

II.5.1. Un exutoire perfectible

Les eaux du lacs sont extraites vers le Chéran par le biais d'une buse enterrée au Nord du lac. A son arrivée dans le Chéran, elle marque le début d'un parcours « No-Kill » du Chéran.



Figure 18 : Buse du plan d'eau côté lac et côté rivière. Source : Aymeric LE CAVIL

Cette buse enterrée mesure 65.5 mètres de long pour un diamètre de 1.5 m et une pente de 2.46 % (mesurée sur Géoportail avec la moyenne de trois profils altimétriques). Lors des sorties de terrain, la hauteur d'eau était de 18 cm (28/12/2016) et 21 cm (21/02/2017). La hauteur maximale de la lame d'eau a été mesurée à environ 35 cm pour une largeur de 117 cm.

La volonté de L'AAPPMA du Haut Chéran et du SMIAC serait de remplacer cette buse par un ruisseau à ciel ouvert afin de permettre une meilleure continuité écologique entre le Chéran et le plan d'eau. La circulation des poissons semble s'effectuer compte tenu de la présence de truites fario sauvages, comme le montre la figure 19 où l'on voit une truite pêchée dans le plan d'eau et des truites du plan d'eau sur frayères.

Cet aménagement semble tout de même limiter la remontée des truites car leur effectif est faible. Nous verrons dans la partie suivante comment cette buse peut influencer la libre circulation des poissons.



Figure 19 : Truite fario du plan d'eau et truites sur frayères. Source : Stéphane Jan .2006
<http://au-bord-du-cheran.over-blog.com/article-2741860.html> et Aymeric LE CAVIL

II.5.1.1. Phénomènes de dévalaison

On peut observer des phénomènes de dévalaison créés par le courant d'appel de l'exutoire. La dévalaison des poissons peut induire des blessures pouvant affaiblir les poissons. Les blessures peuvent résulter de la hauteur de chute et de l'arrivée des poissons sur une fosse de dissipation trop peu profonde ou un contact avec les rochers. Dans notre cas, la hauteur de chute est de l'ordre de quelques centimètres ce qui ne semble pas impacter les poissons. En effet, pour une chute dans une lame d'eau les dommages deviennent significatifs à partir d'une vitesse de la lame d'eau de 16m/s et d'une chute de 13 m ce qui est loin d'être notre cas [14]. Cependant il n'est pas exclu que les poissons puissent se blesser en arrivant sur des blocs ou le fond. De plus, le nombre d'alevins restant dans le plan d'eau serait diminué par ce phénomène.

II.5.1.2. Un ouvrage obscur

On peut constater que cet ouvrage présente une obscurité ; l'impact de l'obscurité est peu probant et variable en fonction des espèces et de leur stade de développement [15]. La truite est lucifuge aux stades alevin et juvénile, diurne au stade adulte et plutôt crépusculaire au stade âgé. Au stade adulte, elle semble donc pouvoir être affectée par cette obscurité mais c'est surtout la variation brutale de luminosité au niveau de l'entrée et de la sortie de l'ouvrage qui peut poser problème aux poissons. Cet aspect fait l'objet d'un arrêté de prescriptions générales « *Le projet assure autant que possible, par ses modalités de construction, un éclairage naturel (tirant d'air suffisant, évasement des extrémités). La transition entre la pleine lumière et l'intensité lumineuse sous l'ouvrage doit être progressive* » [16].

II.5.1.3. Vitesse d'écoulement et rugosité

Cette buse est en béton, l'eau peut subir une accélération importante et compte tenu de la faible rugosité de l'ouvrage, les vitesses peuvent devenir trop importantes par rapport à la capacité de nage des poissons.

De plus cet ouvrage est uniforme, il ne présente pas de zone de repos ce qui nécessite un franchissement d'un seul tenant.

Pour connaître le débit et la vitesse d'écoulement, j'ai réalisé une mesure sur un jour donné (20/02/2017) en période d'eau « normale » correspondant à un débit moyen mensuel de 8,56 m³/s du Chéran (Station hydrologique : V1255010 à Allèves, données calculées sur 59 ans). Il est possible de mettre en corrélation le débit du Chéran avec celui du plan d'eau étant donné la connexion de nappe.

Tableau 5 : Mesures dans la buses le 20/02/2017

Hauteur de la lame d'eau (cm)	21
Largeur de la lame d'eau (cm)	103

Pour mesurer la vitesse d'écoulement et le débit, j'ai mesuré la distance de la buse (65.5m) avec une corde attachée de part et d'autre que j'ai fait passer dans la buse ; j'ai ensuite fait des marques et mesuré.

J'ai ensuite disposé un flotteur à l'entrée de la buse puis j'ai mesuré le temps qu'il mettait pour arriver à la sortie, j'ai répété la mesure 3 fois comme le montre le tableau 6.

Tableau 6 : Mesure des temps de parcours du flotteur

	Temps (secondes)
Temps 1	39,39
Temps 2	38,47
Temps 3	39,53
Moyenne	39,13

J'ai donc pu déterminer la vitesse d'écoulement : $vitesse = \frac{distance}{Temps\ moyen}$

A partir de cette distance, il a été mesuré le débit : $Q = Section \times vitesse$
Les résultats sont les suivants :

Tableau 7 : Calcul du débit

Vitesse (m/s)	1.67
Q (m³/s)	0.25

Les calculs et caractéristiques de la buse sont consultables sur l'annexe n°5.

A partir de cette mesure, on peut regarder si l'ouvrage est franchissable à cet instant T et il est ensuite possible de formuler des hypothèses, c'est ce que nous allons réaliser.

Il est possible de mettre en parallèle la vitesse de courant observée ce jour-ci avec la figure 20. Par lecture graphique, on voit qu'avec une vitesse d'écoulement d'environ 1.7 m/s, l'ouvrage aurait été infranchissable pour tous les salmonidés et quelle que soit la température, il aurait été parcouru au maximum 30 mètres pour les spécimens de 35 cm à 20 °C. Au-delà d'une vitesse de 1m/s notre ouvrage serait infranchissable et ce, quelle que soit la taille de la truite ou la température de l'eau. Pour que toute taille de

poissons puisse franchir l'ouvrage il ne faudrait pas une vitesse d'écoulement dépassant 0.4 m/s.

La même analyse peut être réalisée avec les vairons.

L'ouvrage est infranchissable si la vitesse d'écoulement est de 1.m/s.

Il serait franchissable pour toute taille de poissons entre 0.6 et 0.7 m/s.

L'absence de données sur les débits de l'exutoire ne nous permet pas de faire une analyse détaillée et de savoir quand est-ce que les poissons peuvent remonter ou non.

Cependant, il est possible de supposer que le débit à l'exutoire varie fortement et limite la remontée des poissons ou devient même infranchissable surtout lorsque les niveaux d'eaux sont importants (maximum de Mars à Mai) ou lors de forts orages.

II.5.1.4. Profondeur d'eau

L'eau s'écoule toute l'année à travers l'exutoire mais durant les basses eaux de juin à septembre la hauteur de la lame d'eau est fortement diminuée ce qui rend difficiles la nage et la progression du poisson. Pour la truite, la hauteur minimale de la lame d'eau est comprise entre 5 et 10 cm [14]. Si la lame d'eau diminue de manière trop importante, les flux de poissons ne seraient plus possibles.

II.5.1.5. Bilan

Cet ouvrage semble être un frein à la libre circulation des espèces aquatiques. En effet il peut perturber le bon déroulement des déplacements longitudinaux et latéraux des espèces, ce qui peut nuire à leur accès à la diversité des habitats nécessaires à la réalisation des différentes fonctions biologiques y étant associées. Il peut en résulter une régression démographique voire, à plus long terme, limiter le flux de gène ayant des conséquences sur les populations piscicoles. Cet ouvrage est donc contraire aux notions de tram vert et bleu et peut faire l'objet d'amélioration que l'on abordera dans la partie « projet ».

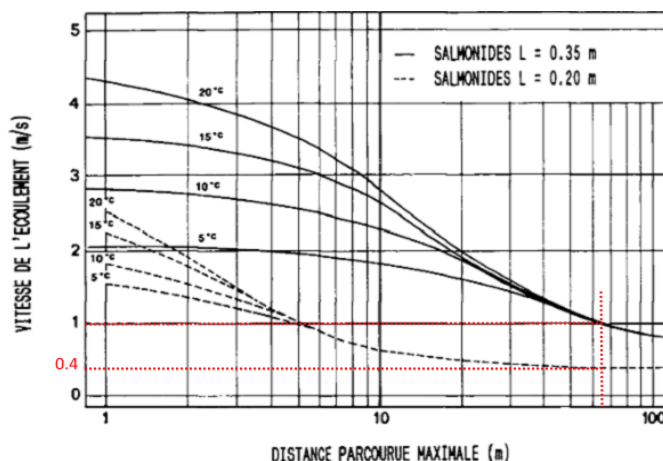


Figure 20 : Evaluation de la distance franchissable maximale par des salmonidés dans un écoulement de vitesse donnée.

Source : M. LARINIER. 1992.

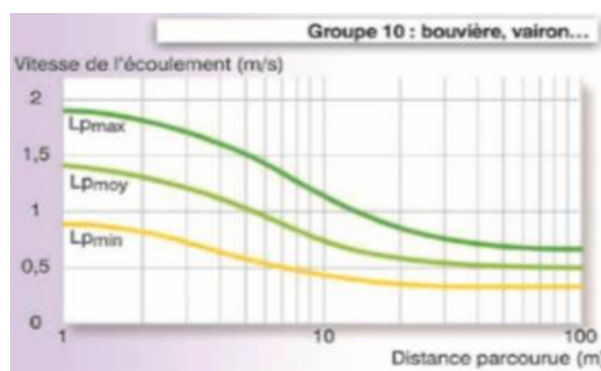


Figure 21 : Evaluation de la distance franchissable maximale pour les bouvières et vairons

Source : Marc BAUDOIN et Vincent BURGUN. 2014. *Evaluer le franchissement d'un obstacle pour les poissons.*

Lp max : longueur poisson maximum

II.5.2. Eutrophisation du plan d'eau

Le plan d'eau semble soumis à un phénomène d'eutrophisation. Selon le CNRS [17] l'eutrophisation est « *une forme singulière mais naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues et que celles-ci prolifèrent. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore et l'azote.* ». Ce processus peut être accéléré par les activités humaines et modifiera le fonctionnement du milieu.

La couleur du lac, que l'on peut voir sur les photos aériennes et la figure 22, est assez particulière, elle est verte foncée et peut nous faire penser à la présence d'algues. En effet, sur le fond et les berges, sont visibles des algues vertes, notamment des algues filamenteuses. En été, leur présence est particulièrement importante. La figure 22 nous montre la présence d'un tapis algueux à l'extrémité du lac et une bordure qui semble s'envaser (partie grise dans l'eau).



Figure 22 : Tapis d'algues à l'extrémité Sud du Lac.
Source : Aymeric LE CAVIL

II.5.2.1. Origine de l'eutrophisation

L'eutrophisation s'observe surtout dans les écosystèmes dont les eaux se renouvellent lentement, ce qui est notre cas. S'ajoute à cela des apports de matières par le ruissèlement, les infiltrations et les apports sédimentaires polluants et eutrophisants du ruisseau situé au bout du lac.

II.5.2.2. Affluent du lac

En remontant le ruisseau provenant du lieu-dit le VILLARET, il a pu être constaté qu'un certain nombre de débris étaient présents sur ses abords (plastique, pilonne en béton, tuyaux non utilisés etc...). Ce ruisseau est canalisé dans un tuyau provenant d'un champ, comme le montre la figure 23. De plus, il est visible que le sol a été érodé ce qui forme un fossé important. Des pollutions peuvent être drainées par ce petit ruisseau ; ces pollutions peuvent provenir de la route ou du petit hameau situé à proximité si les systèmes d'assainissement ne sont pas aux normes ou s'il y a des rejets sauvages (déchets jetés dans la nature). Entre 50 et 80 % des installations non collectifs des hameaux du Châtelard ne sont pas aux normes, concernant le hameau du Villaret situé à proximité du plan d'eau, 79% des installations ne sont pas aux normes (Mr Pellerin, responsable du service des Eaux des Bauges).



Figure 23 : Tuyaux PVC canalisant le ruisseau
Source : Aymeric LE CAVIL

II.5.2.3. L'activité agricole

L'activité agricole peut également avoir un rôle dans les pollutions s'il y a de l'épandage sur les champs. Comme vu sur la figure 7, le ruisseau draine une zone agricole (zone A). L'agriculture du parc naturel régional des Bauges est dominée par l'élevage laitier qui s'organise autour de filières en appellation d'origine protégée (Chevrotin, Abondance, Reblochon et Tome des Bauges ; le terroir est entièrement dans le Parc). L'élevage extensif constitue la base de l'économie agricole du Parc Naturel Régional, les troupeaux pâturent d'avril à novembre.

Les systèmes d'élevage locaux sont spécialisés dans la culture de l'herbe [18]. La totalité de la surface agricole du Châtelard est utilisée soit en tant que prairie permanente (92 % de la surface agricole utilisée en 2016 d'après PACAGE 2016), soit en prairie temporaire (8%). La culture de l'herbe s'il y a épandage et l'élevage extensif peuvent affecter le ruisseau et polluer le plan d'eau du Châtelard, une analyse physico-chimique de la qualité de l'eau et une connaissance précise des pratiques des agriculteurs sur ce secteur permettraient d'obtenir plus d'informations.

L'étude de 1986 pour le plan d'eau de Lescheraines avait mis en évidence que les eaux infiltrées à travers la digue contenaient des nitrates et phosphates. Les éléments polluants peuvent donc provenir bien en amont du lac et peuvent être transportés par le Chéran et ses affluents.

Par exemple, le Nant d'Aillon doit faire l'objet d'une adaptation vis à vis des matières organiques et oxydable d'ici 2021, selon la figure 24. Ce cours est donc pollué avec ses substances qui peuvent par la suite se retrouver dans le plan d'eau par infiltration.

Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Catégorie de masse d'eau	Objectif d'état écologique					Objectif d'état chimique			
			Objectif d'état	Statut	Echéance	Motivations en cas de recours aux dérogations	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation	Echéance sans ubiquiste	Echéance avec ubiquiste	Motivations en cas de recours aux dérogations	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation
FRDR11706	ruisseau le dadon	Cours d'eau	bon état	MEN	2027	FT	morphologie, substances dangereuses, hydrologie	2015	2015		
FRDR532a	Le Chéran du Barrage de Banges à la confluence avec le Fier	Cours d'eau	bon état	MEN	2027	FT	continuité, substances dangereuses, matières organiques et oxydables, hydrologie, morphologie	2027	2027	FT	para-tert-octylphenol
FRDR532b	Le Chéran de sa source au Barrage de Banges	Cours d'eau	bon état	MEN	2015			2015	2015		
FRDR533	Nant d'Aillon	Cours d'eau	bon état	MEN	2021	FT	matières organiques et oxydables, hydrologie	2015	2015		

Figure 24 : Objectif de l'état écologique pour le Chéran, le Dadon et le Nant d'Aillon .

Source : www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr

Les résurgences karstiques provenant des réseaux karstiques très développés dans ce secteur peuvent également être sources de pollutions plus lointaines. En effet, les eaux provenant du Mont-Margériaz abritant une station de ski peuvent par exemple être soumises à des pollutions.

II.5.2.4. Pollutions industrielles

Il existe sur la commune deux usines classées non Seveso : le SIVOM des Bauges et l'entreprise ROGER ARMENJON.

Cette dernière est située près du site et est spécialisée dans la charpente. Selon l'inspection des installations classées, elle a un régime d'autorisation D et A respectivement pour le travail du bois et la mise en œuvre de produits de préservation du bois dérivé.

Une seule petite partie de cette entreprise est située dans le bassin d'alimentation du plan d'eau comme on peut le voir sur la carte. Le seul risque pouvant exister serait une fuite de produits en direction du plan d'eau.

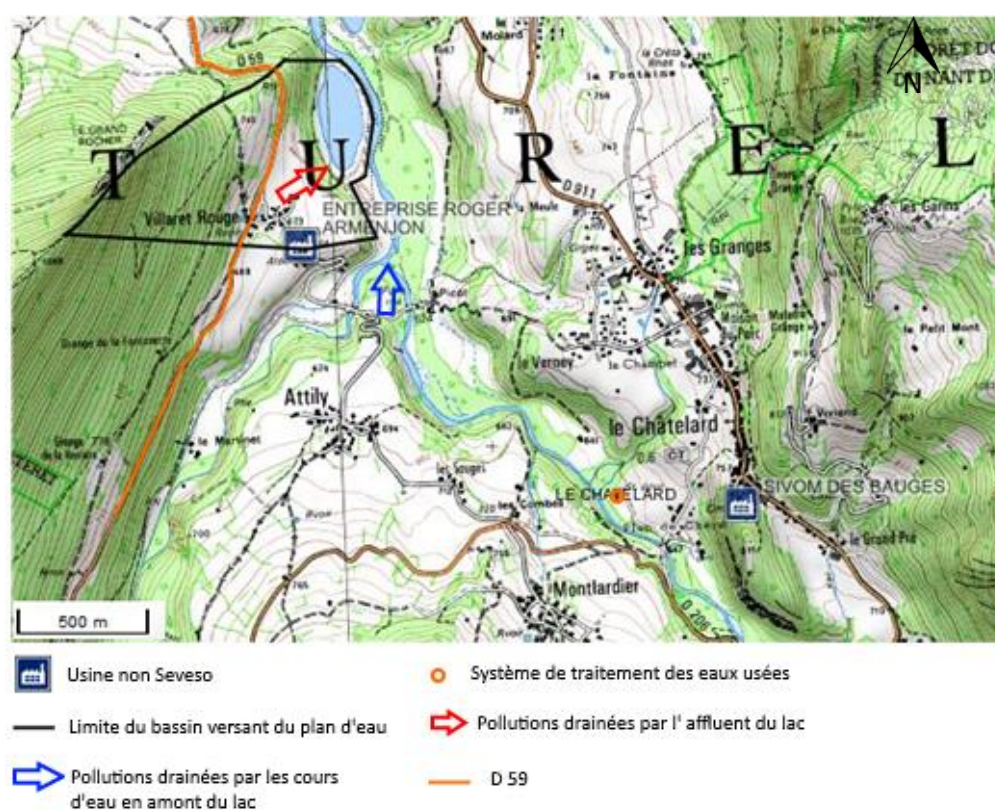
Ce risque semble quasi nul en raison de la réglementation et des contrôles qui sont réalisés et de la faible proportion de cette structure dans le bassin d'alimentation du lac. Il existe également une station d'épuration, comme le montre la carte ; cette dernière se rejette dans le Chéran. Le SIVOM est relié à cette dernière.

II.5.2.5. Pollutions accidentelles

Les axes routiers peuvent représenter également un risque. En effet, les routes sont empruntées par les poids lourds pouvant transporter des substances dangereuses. Un accident pourrait conduire à un déversement de substances et polluer la zone. Il peut également exister des pollutions dues aux ruissellements de la voirie (particules fines et/ou hydrocarbures).

Le site est situé à proximité de la D 59, visible en orange sur la figure 25. Elle passe environ 200 mètres au-dessus du plan d'eau. Le petit ruisseau se jetant dans le plan d'eau est à proximité de la route. Des substances ou des eaux de ruissellement polluées pourraient à terme, après avoir traversé les zones végétalisées, se retrouver dans le lac.

La carte ci-dessous récapitule les différentes origines des pollutions pouvant affectées le plan d'eau du Châtelard.



II.5.2.6. Les conséquences

Au-delà de favoriser le développement algal et d'apporter des sédiments dans le lac, cette pollution peut faire changer la biodiversité animale et végétale et polluer ou modifier la composition physico chimique de la nappe alluviale.

II.5.3. Bilan sur les problématiques identifiées

Au vu des problèmes identifiés précédemment, il est nécessaire de faire des propositions d'améliorations. Cela passerait par la réhabilitation de l'exutoire du plan d'eau en un ruisseau à ciel ouvert ainsi que l'installation de plantes aquatiques filtrantes et de radeaux végétalisés autour du lac pour stocker et éliminer des nutriments dans le but de ralentir le processus d'eutrophisation.

III. Projet d'aménagement

III.1. Aménagement d'une rivière artificielle

III.1.1. Présentation générale du projet

Le projet consisterait à retirer la buse existante afin de créer un ruisseau à ciel ouvert. Il permettrait une libre circulation des espèces aquatiques, ce qui est très fortement limité à ce jour. Il y aurait également la création d'une ripisylve, absente jusqu'à présent.

Ce projet pourrait être accompagné d'une valorisation pédagogique. L'observation des espèces aquatiques y sera assez aisée en raison de la transparence des eaux et de la taille du ruisseau. On peut observer des truites sur frayères dans le lac, ce qui est plus difficilement observable pour le grand public en rivière. Il est donc possible de supposer que cela rendra le site plus attractif. De plus, si les truites trouvent des conditions favorables dans le lac et ses bordures, elles pourraient y être présentes en nombre plus important, contribuant à améliorer l'offre de pêche.

Afin de réaliser cette valorisation pédagogique il y aurait un panneau explicatif placé à proximité du ruisseau. Ce panneau expliquerait les processus ayant conduit aux aménagements et permettrait une sensibilisation auprès des usagers sur les questions environnementales telle que la continuité écologique ou encore la qualité de l'eau et de l'environnement.

III.1.2. Dans quel contexte ?

Ce projet s'inscrit dans un contexte de « trame verte et bleue » qui, selon l'article L371-1 du Code de l'environnement, a pour objectif d'« enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural » [19].

Les cours d'eau peuvent jouer le rôle soit de réservoirs de biodiversité, soit de corridors écologiques, soit les deux.

Le SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée stipule que toute opportunité qui concourt à renforcer la fonction d'essaimage d'un réservoir biologique est à saisir. Ce petit ruisseau permettrait en effet d'offrir un habitat particulier où des espèces pourraient y vivre et y établir leur cycle biologique, ce qui n'est pas le cas avec la buse actuelle.

Il faut tout de même savoir qu'il y aura destruction d'espèces végétales lors des travaux. Cela sera compensé en partie puisqu'une ripisylve sera développée. De plus, selon le SDAGE, il est nécessaire de préserver et restaurer les rives de cours d'eau et ripisylves en raison de leurs fonctions (bon état et maintien de la biodiversité via la fixation des nutriments, maintien des berges). Il n'y a donc pas de contre-indication à la destruction des espèces végétales lors des travaux.

Le projet s'inscrit dans une démarche de préservation et de restauration de l'espace de bon fonctionnement des milieux aquatiques (disposition 6A-02 du SDAGE) en redonnant une partie naturelle à ce milieu qui a été anthropisé dans le passé. Il s'inscrit également dans le cadre de la disposition 6A-05 sur la continuité écologique des milieux aquatiques [20].

Selon le schéma de cohérence écologique de Rhône-Alpes pour le Bassin - Vallées du Fier et du Chéran – Collines de l'Albanais, il y a un enjeu de préservation de la qualité et de l'intégrité de la

Trame bleue. Le Chéran en fait partie et est qualifié de cours d'eau à qualité structurante du territoire. Il est en très bon état morphologique.

L'enjeu de préservation de la continuité écologique y est prédominant. L'aménagement de ce petit ruisseau apporterait un poids en plus à la candidature au label rivière sauvage.

Concernant le patrimoine piscicole d'eau douce, le SDAGE Rhône Méditerranée nous indique qu'il est nécessaire de mettre en place une gestion planifiée.

En effet, il est préférable de favoriser une gestion patrimoniale des populations de poissons (disposition 6C-01 du SDAGE) [20]. Les souches identifiées comme autochtones doivent être préservées, tout particulièrement dans les réservoirs biologiques (article R.434-30 du Code de l'Environnement) [21]. Le parc naturel régional des Bauges a d'ailleurs soutenu certaines structures porteuses de procédures contractuelles (contrats de rivière et lac etc...) dans une démarche d'arrêt d'alevinage dans le Chéran car il a été identifié une souche autochtone de truites. Il ne faudra donc en aucun cas aleviner le lac ou le ruisseau mais laisser les espèces s'y installer [22].

Les objectifs de cet aménagement sont en adéquation avec les objectifs du SDAGE, le schéma régional de cohérence écologique et le parc naturel régional des Bauges et s'inscrit dans un contexte de « trame verte et bleue ». Toutes les opportunités permettant une restauration de la continuité écologique et de restauration du milieu doivent être saisies lorsqu'elles contribuent aux objectifs de la « trame verte et bleue » [20].

III.1.3. Soumission du projet à l'application de la loi sur l'eau

Lorsqu'il y a le souhait de réaliser un projet ayant un impact direct ou indirect sur le milieu aquatique, il y a obligation de soumettre le projet à l'application de la Loi sur l'eau (dossier de Déclaration ou d'Autorisation). Les projets concernés sont de différents types, cela peut-être un ouvrage ou bien une activité. Tous les milieux aquatiques en rapport avec l'eau sont pris en compte, que ce soit les eaux superficielles ou souterraines, de même les impacts directs, indirects, positifs ou négatifs sont pris en compte.

Le projet est directement concerné par cette disposition. Il faudra par conséquent réaliser un dossier de déclaration ou d'autorisation après analyse des critères.

Concernant le nouveau ruisseau créé, il est conseillé de le classer en « réserve » afin qu'il ne puisse subir aucune pression de pêche. En effet, ce milieu est petit et les espèces y sont facilement capturables ; il n'est, de plus, indispensable qu'il puisse être pêché puisqu'il y a le Chéran à proximité qui est classé en « No-Kill » à cet endroit, ou encore le plan d'eau qui est en réserve active. Il fait donc la jonction entre 2 milieux ayant une gestion particulière. Il semble donc de bon sens de protéger ce petit ruisseau servant de corridor écologique, de zone refuge, de zone de reproduction et plus généralement d'habitat.

III.1.4. Réalisation du projet

III.1.4.1. Relevés topographiques

Avant la réalisation du projet, il sera nécessaire de faire une série de relevés topographiques afin de connaître les oscillations du terrain. Cela permettra d'obtenir un profil en long entre l'exutoire du plan d'eau et le Chéran. A partir de ces données il pourra être affiné les valeurs actuelles permettant une réalisation précise des travaux.

III.1.4.2. Travaux de terrassement

Sur le site d'étude, il y a actuellement la présence d'un enrochement permettant de protéger le lac du risque inondation. Cet aspect sera pris en compte de manière à ne pas réaliser le ruisseau trop proche pour ne pas déstabiliser les berges et fragiliser cet enrochement.

De plus, il y a la présence de la promenade savoyarde de confort qui passe à proximité du ruisseau ; cette dernière ne sera pas modifiée mais intégrée au projet car elle passera à proximité du ruisseau.

Il n'y aura pas de bouleversements majeurs des installations et usages déjà présents, ce qui est un argument important pour l'acceptation et la pérennité du projet.

Avant les travaux, nous sommes en présence d'un talus d'une hauteur variant de 2 à 3 mètres environ, comme le montre la figure 29. En l'absence de données, nous considérerons que la buse est située à environ 50 cm sous la surface du sol en moyenne.

Pour réaliser le ruisseau, il faudra tout d'abord abattre et retirer les arbres et arbustes présents dans les emprises des travaux ; les souches seront retirées.

Ensuite, il faudra réaliser une opération de terrassement et retirer la buse qui est constituée de tuyaux en béton de 2.4 mètres de long ; il y en a au total 16.

Pour faciliter la réalisation des travaux, il faudra placer une pompe dans le plan d'eau afin de vider la quantité d'eau sortant normalement par l'exutoire.

Après avoir retiré la buse, il faudra aplanir la pente pour obtenir une berge avec une pente de 1 pour 2.

Tous les calculs réalisés pour la réalisation du bilan hydrique, pour le dimensionnement et la réalisation du projet sont consultables en Annexe

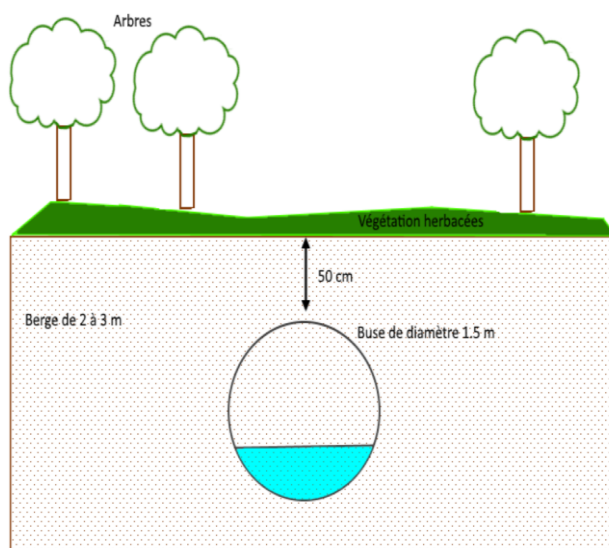


Figure 26 : Situation schématique avant travaux - vu en coupe transversale.

Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.Net

III.1.4.3. Dimensionne du lit mineur et des berges

III.1.4.3.1. Hauteur d'eau

Concernant la truite, la hauteur minimale de la lame d'eau afin de franchir un obstacle est comprise entre 5 et 10 cm [14]. Il sera retenu une hauteur d'eau de 15 cm, en accord avec le débit qui varie peu. Cette hauteur d'eau permet de rendre ce ruisseau fonctionnel car il laisse passer aisément les poissons mais leur permet aussi de vivre dans ce milieu.

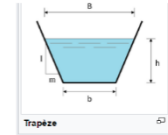
III.1.4.3.2. Calcul de la largeur du fond du ruisseau

La forme retenue pour le cours sera un trapèze car c'est la forme rapprochant le plus du ruisseau voulu avec une pente fixée de 1 pour 2 (1/m). Les formules utilisées pour calculer les différents paramètres du trapèze sont celles visible sur la figure 27.

-Il faut ensuite calculer le rayon hydraulique et la section mouillée pour le trapèze.

-D'autres paramètres sont nécessaires tels que la pente qui a été calculée au préalable et la hauteur d'eau fixée.

-On fixe un K de 30 correspondant à un cours d'eau régulier.



Largeur, B	$b + 2 \times mh$
Surface, S	$(b + mh) \cdot h$
Périmètre mouillé, P	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$
Rayon hydraulique, R_h	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$
Profondeur hydraulique, D_h	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$

Figure 27 : Formules sur le trapèze.
Source : Diamètre hydraulique.
20216.https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique

Tableau 8 : Paramètres calculés

Cours d'eau régulier K=	30
Rayon hydraulique (m2)	0,111
Jf	0,025
Section mouillé (m2)	0,158
m (m)	2
Hauteur h (m)	0.15

Connaissant le débit moyen qui a été calculé dans la partie bilan hydrique, il est à présent possible de déterminer la largeur du fond du cours d'eau (b). On connaîtra également la largeur au miroir (B) et la vitesse d'écoulement.

Pour ce faire il faut appliquer la formule de Manning-Strickler :

$$V = K \times R h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{Jf}$$

$$Q = K \times S m \times \sqrt{Jf} \times R h^{2/3}$$

V : vitesse

Q : débit

K : coefficient de Manning-Strickler

Rh : rayon hydraulique

Sm : section mouillée

Jf : pente

On fait varier la largeur b afin d'obtenir le débit le plus proche possible que celui calculé dans la partie bilan hydrique correspondant aux apports moyens annuels.

On obtient :

Tableau 9 : Résultat après avoir appliqué la formule de Manning-Strickler

Ces résultats sont précis à 3 millièmes près au niveau des débits (0.171 et 0.174).

On voit que la largeur b correspondant au fond du ruisseau sera de 0.75 mètres.

Les calculs sont consultables sur l'annexe n° 6.

Cours d'eau régulier K	30,00
Rayon hydraulique (m ²)	0,111
Jf	0,025
Section mouillée (m ²)	0,158
Largeur b (m)	0,750
m (m)	2,000
Largeur au miroir B (m)	1,350
G (m·s ⁻²)	9,810
h (m)	0,150
V (Manning-Strickler) (m/s)	1,086
Q (Manning-Strickler) (m ³ /s)	0,171
Q total (m ³ /s)	0,174

III.1.4.3.3. Calcul de hauteur de la berge

Pour la hauteur de berge, il est tout d'abord nécessaire de calculer un débit décennal. En effet, nous voulons au moins que le ruisseau puisse contenir ce type d'évènement. Il sera rajouté les apports maximums par la nappe et les infiltrations afin d'être le plus proche de la réalité.

Pour les calculs, il sera retenu une station de Chambéry qui est une grande ville à proximité de notre site.

Tableau 10 : Caractéristiques des pluies de la station de Chambéry

Station de Chambéry (1979 -2006)	
Période de retour	10 ans
a	7.202
b	0.622
Durée totale de la pluie	4 heures
Pluie totale pour 4h (mm)	45,9
Pluie totale en mm/min	0.191

A partir de ces données, il a pu être calculé un débit décennal avec la méthode rationnelle :

$$Q_{10} = 0.167 \times C_r \times i_T \times A$$

Q : débit de pointe (m³/s)
C : coefficient de ruissellement
i_T : intensité de la pluie de période de retour T (mm/mm)
A : surface du bassin versant (ha)

Tableau 11 : Calcul du débit décennal

Surface bassin versant (ha)	61,2
Coefficient de ruissèlement moyen	0,1342
Q 10 (m ³ /s)	0,2623
Q 10 + Apports max par infiltration (m ³ /s)	0,4362

On procède ensuite de la même manière que pour déterminer la largeur du fond du ruisseau ; cependant on fait varier h pour atteindre le débit décennal calculé.

Tableau 12 : Résultat suite à l'application de la formule de Manning-Strickler pour le Q10

Cours d'eau régulier K=	30,000
Rayon hydraulique (m ²)	0,167
Jf	0,025
Section mouillée (m ²)	0,313
Largeur b (m)	0,750
m (m)	2,000
Largeur au miroir B (m)	1,750
g (m.s ⁻²)	9,810
h (cm)	0,250
V (Manning-Strickler)	1,429
Q (Manning-Strickler)	0,446
Q 10	0.436

La démarche employée peut être consultée sur l'annexe n° 6 et 7.

On voit donc qu'avec notre Q 10 calculé, la hauteur d'eau serait de 0.25 cm et la largeur au miroir de 175 cm.

Il a été décidé de surélever un peu la berge jusqu'à une hauteur de 40 afin d'anticiper d'éventuels événements pluvieux supérieurs à un Q 10. En prenant une hauteur de 40 cm, le ruisseau pourra supporter un débit de 1.14 m³/s.

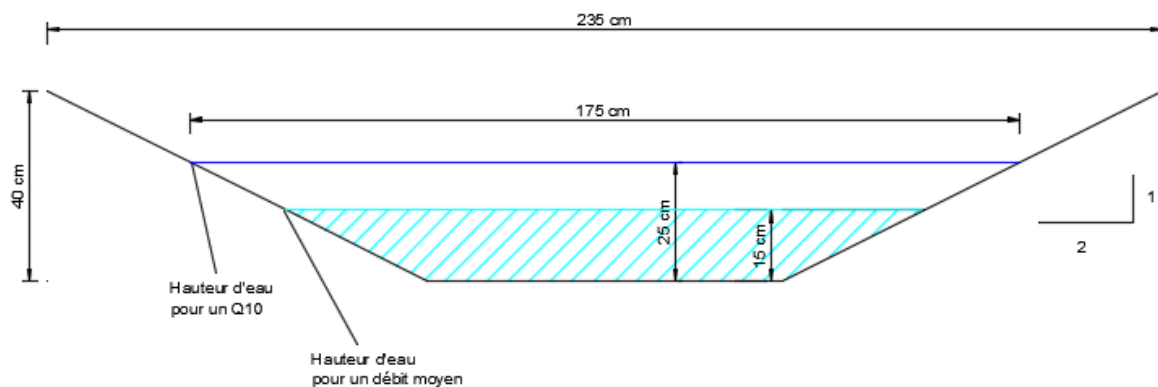


Figure 28 : Ouvrage dimensionné. Vu, en coupe transversale.
Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : AutoCAD

III.1.4.4. Profilage des berges

En haut de berge, il pourra y avoir la plantation d'herbes ainsi que de petits arbustes tels que des saules et des aulnes et d'autres espèces déjà en place.

Sur la nouvelle pente réalisée, il y aura un géotextile biodégradable en fibres de coco (> 740 g/m²) ce qui permet de garantir une stabilité de la berge en attente de la repousse de la végétation plantée. La fixation du géotextile se fera à l'aide d'agrafes de fers à béton. Les pentes des berges serontensemencées à l'aide d'un mélange grainier spécial bas de berges.

Il a été trouvé un mélange visible sur le tableau 13, ce mélange répond aux caractéristiques du terrain (végétation de berges et de zones humides supportant une immersion provisoire).

Tableau 13 : Mélange grainier pour une berge. Source : Aqua Terra. Disponible sur : <http://www.genie-vegetal.eu/page/188/2--nos-melanges-grainiers.htm>

Famille	Ratio	Espèces : Nom vernaculaire	Espèces : Nom Latin
Graminées : 80%	30%	Ray Grass anglais	<i>Lolium perenne</i>
	15%	Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
	15%	Fétuque rouge	<i>Festuca rubra</i>
	10%	Fétuque ovine	<i>Festuca ovina</i>
	5%	Agrostide	<i>Agrostis tenuis</i>
	5%	Paturin commun	<i>Poa pratensis</i>
Légumineuses : 20%	10%	Lotier corniculé	<i>Lotus corniculatus</i>
	10%	Minette (Luzerne)	<i>Medicago lupulina</i>

Il sera planté des boutures de saules dans la pente et des ramilles de saules en pied de berge. Cela permettra un maintien de la berge ainsi que le développement d'une ripisylve. Ces espèces présentes sur et à proximité du site pourront être prélevées pour la réalisation des travaux. C'est un réel avantage car cela permet de diminuer les coûts mais aussi d'utiliser des espèces locales déjà adaptées aux conditions du milieu.

La vitesse d'écoulement sera en moyenne supérieure à 1m/s, ce qui est incompatible avec la remontée des poissons dans un ouvrage à fond lisse et sans zone de repos.

C'est pourquoi des blocs de différentes tailles seront positionnés dans le lit du cours d'eau, de manière à faire varier les vitesses d'écoulement et donc les différents faciès dans le ruisseau. Il faudra prévoir un apport de granulat spécifique adapté à la reproduction des truites.

Des blocs seront positionnés en pied de berge afin de stabiliser et diversifier cette dernière. Les blocs utilisés pourront être ceux extraits lors du terrassement. L'aménagement de berge est visible sur la figure 29.

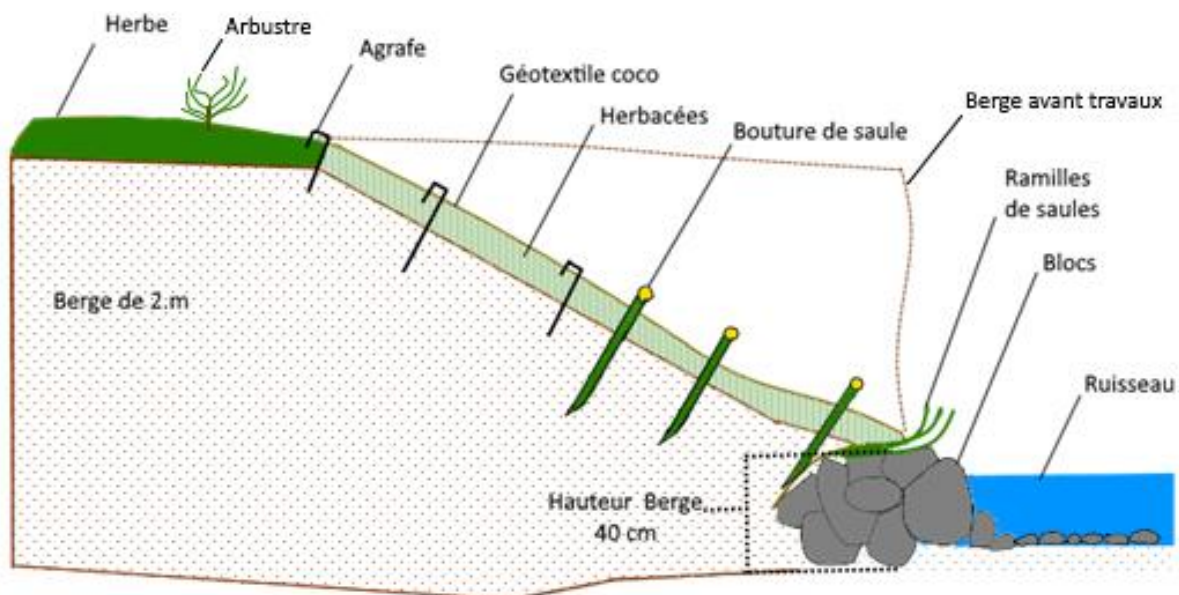


Figure 29 : Vue en coupe transversale d'une berge après la réalisation des travaux.
Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.Net

Il faudra créer des méandres afin de diversifier les faciès d'écoulement. Le principe reste le même ; cependant au lieu de mettre des blocs en pied de berges, il sera utilisé des pieux avec un tressage dans le but de stabiliser et diversifier la berge (il y aura donc des berges en bloc et d'autres en tressage). En effet dans la partie concave du méandre, il y a une accélération des vitesses d'écoulement ; à l'inverse, dans la partie convexe, il y a un dépôt de sédiments.

Cette technique est idéale pour des berges de faible hauteur [23]. Le tressage se fait avec des branches de saules « vivantes ». Elles sont tressées entre des pieux en saules espacés d'environ 1 mètre et enfoncés en pied de berge, comme le montre la figure 30. Entre les pieux, il est placé des boutures. Des branches souples sont plantées dans la terre et tressées autour des pieux. Pour finir, il faudra recouvrir de terre l'arrière du tressage de manière à ce que les branches puissent développer leurs racines.

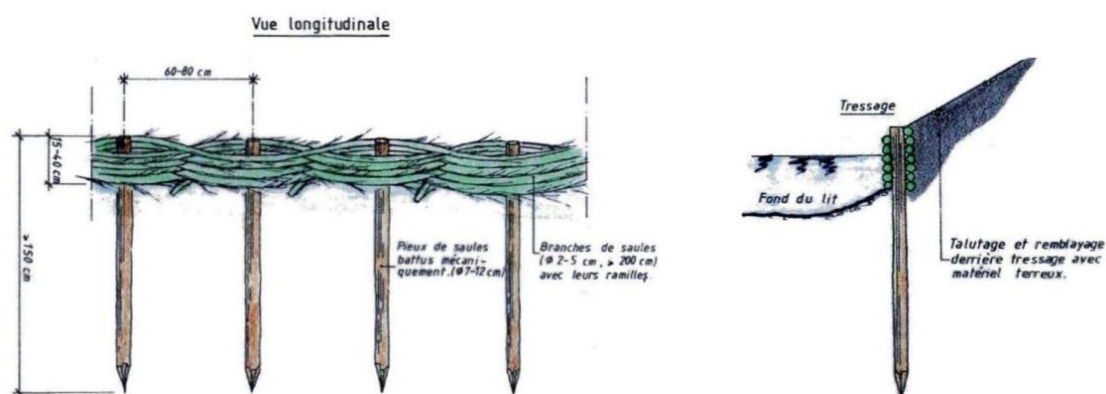


Figure 30 : Schéma de principe du tressage de saule. Source : AquaTerra. « Tressage de saule ». <http://www.genie-vegetal.eu/page/55/4-5--tressage-de-saule.htm>.

Grâce à la création de méandres, une variation des pentes et la présence de blocs dans le lit du ruisseau, il y a une véritable variation des écoulements et donc une mosaïque d'habitats amplifiés par la présence d'une végétation sur les berges. La figure 31 montre une bordure aménagée avec un tressage de saules.

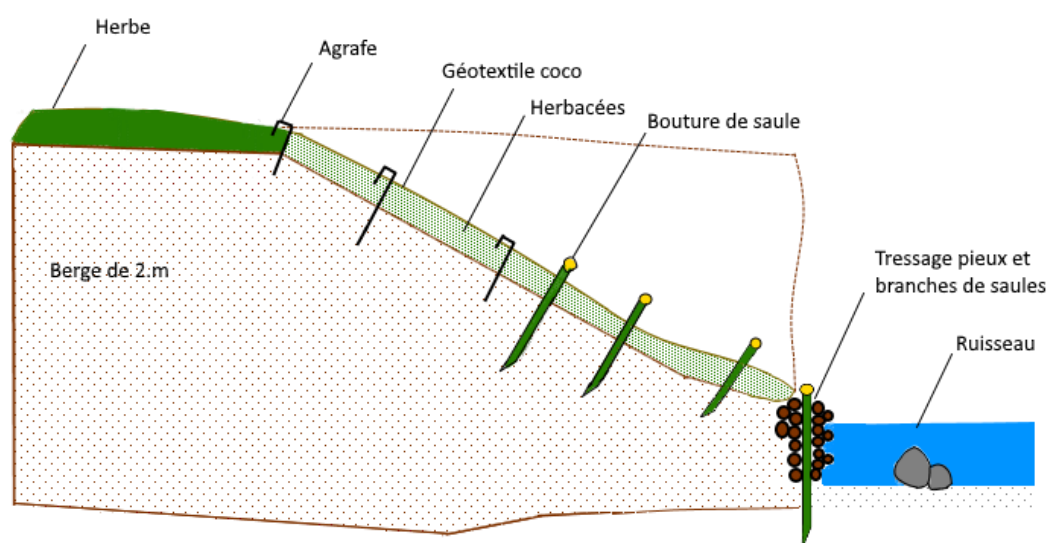


Figure 31 : Vu en coupe transversale de la berge avec un tressage. Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.Net

III.1.4.5. Installation d'une passerelle.

Afin de pouvoir franchir le nouveau ruisseau, il sera indispensable de mettre en place une passerelle. Cette dernière est visible sur la figure 32.

Cette passerelle sera en bois de manière à s'intégrer dans le paysage ; elle comportera des barrières pour des questions de sécurité. Elle fera 8.75 mètres de long, sa largeur sera d'environ 2 mètres.

Les principales contraintes seront qu'elle devra supporter le passage de chevaux et permettre le passage de personnes à mobilité réduite.

S'il est possible d'accéder au lieu avec des engins de levage, il sera possible de la poser déjà montée, sinon il faudra la monter sur place.

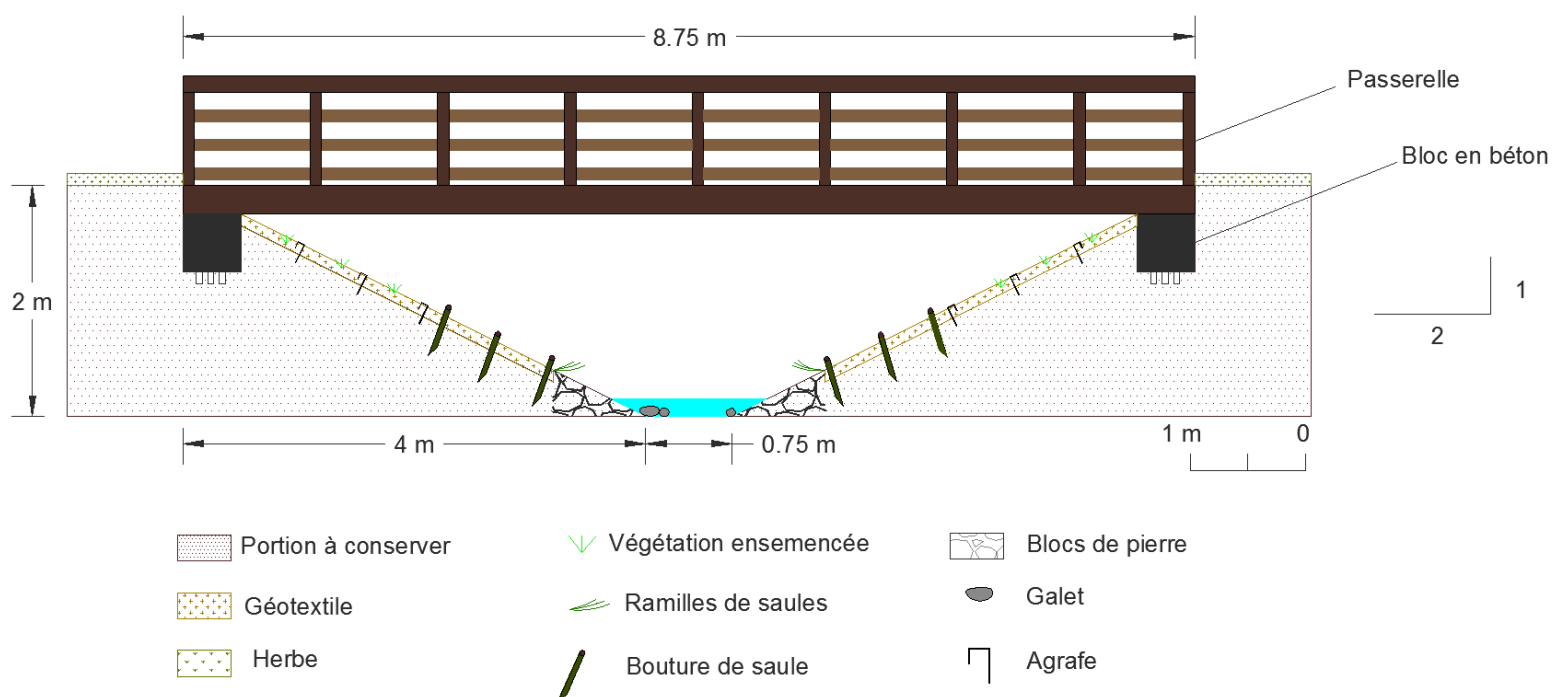


Figure 32 : Schéma de principe de la passerelle installée sur les berges après la création du ruisseau. Vu en coupe.
Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : AutoCAD

III.1.4.6. Modélisation du projet



Figure 33 : Modélisation finale du projet d'aménagement du ruisseau.
Source : Géoportail. Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.Net

La figure 33 représente la modélisation finale avec tous les éléments abordés précédemment.

En effet, elle intègre le futur tracé du ruisseau mesurant environ 115 mètres. Dans la partie concave des méandres, il sera aménagé une bordure avec des pieux tressés (représentant 70 m au total) tandis que dans le reste du linéaire il y aura une bordure avec des blocs (45 m). Le panneau explicatif a été placé à l'entrée du site, plus précisément à la confluence de 2 chemins. La passerelle est installée sur une partie linéaire du cours d'eau et non sur un méandre. Comme le montre la figure 33, la digue n'est en aucun cas impactée tout comme le chemin de la promenade savoyarde de découverte qui n'est modifié qu'au niveau de la passerelle.

III.1.4.7. Estimation du budget

III.1.4.7.1. Estimation des volumes et surfaces sur lesquelles ont lieu les travaux

Afin de calculer le budget, il est au préalable nécessaire de connaître les superficies sur lesquelles les travaux vont avoir lieu ainsi que le volume de terre à extraire. Pour cela, il a été réalisé une coupe simplifiée du terrain avec les dimensions des différentes zones, comme le montre la figure 34 pour réaliser des calculs.

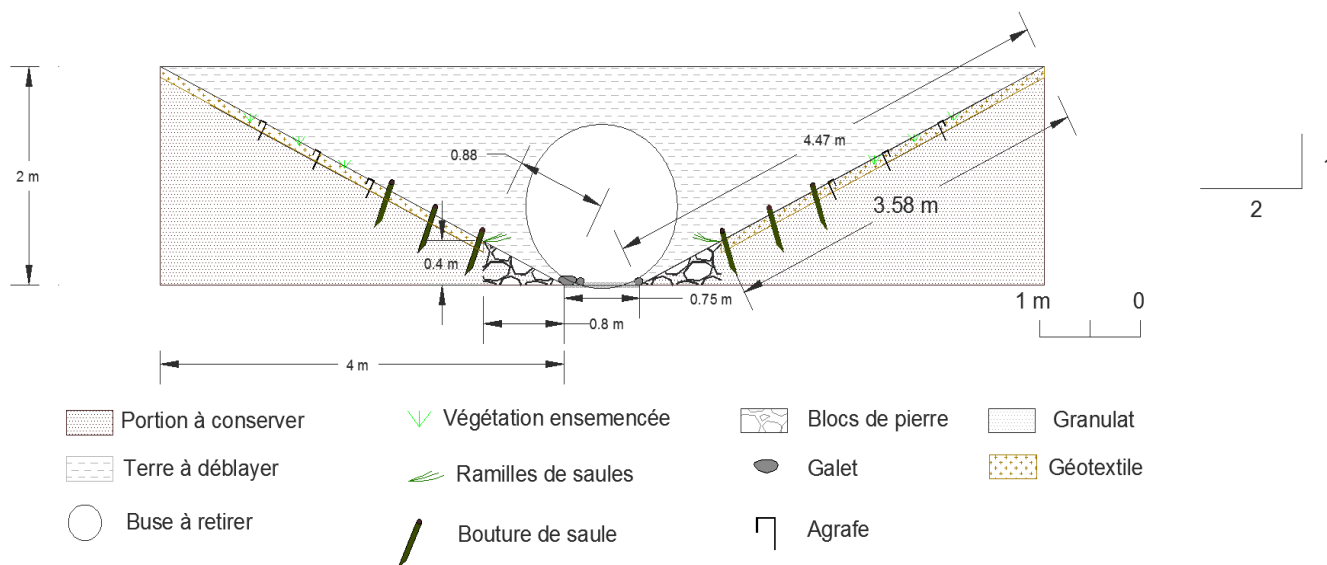


Figure 34 : Schéma simplifié des éléments à retirer. Vue en coupe transversale.
Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : AutoCAD

Pour quantifier le volume de terre à extraire, j'ai rassemblé les 2 portions à conserver ; cela donne un rectangle de 4 m par 2 m sur un linéaire de 115 mètres.
Il faut faire de même avec le grand rectangle (8.75m- 2m- 115m) et ensuite calculer le volume du cylindre.

Volume à déblayer : Volume grand rectangle – (Volume petit rectangle + Volume cylindre).

Tableau 14 : Calcul du volume à déblayer pour une longueur de 115m

Calcul du volume à déblayer	
Volume grand rectangle (m3)	2012,5
Volume petit rectangle (m3)	920,0
Volume cylindre (m3)	203,1
Volume à déblayer (m3)	889,4

La terre déblayée pourra en partie être utilisée pour la création des méandres.

Il a ensuite pu être calculé la superficie sur laquelle seront implantés les graines, le géotextile et les agrafes. Pour ce faire, il aura simplement fallu multiplier la longueur du ruisseau par la diagonale de 3.58 mètres ce qui donne une surface d'environ 411.7 m². Les calculs sont visibles en annexe n°8.

III.1.4.7.2. Chiffrage du coût de l'aménagement

Le tableau 15 récapitule les différents matériaux utilisés, les opérations réalisées ainsi que leur coût ; il est possible de voir les critères utilisés sur l'annexe n°9.

Ces estimations se sont faites à partir des calculs des superficies et volumes mais aussi grâce à des devis ou de sites internet. En face de chaque matériau utilisé, il y a la présence d'une source qu'il est possible de consulter sur l'annexe 10 comportant les sources mais aussi les détails des calculs précédents.

Tableau 15 : Estimation du coût du projet

	Prix Unitaire	Quantité	Prix HT en euros
Coupes diamètre supérieur à 20 cm (1)	120,0	15,0	1800
Coupes diamètre supérieur à 40 cm (1)	250,0	5,0	1250
Mélange grainier en kg (30g/m2) prix au kg (2)	5,5	11,2	137,9
Géotextile coco H2M5 740 g/m2 , prix au m2 (3)	2,6	411,7	1070,4
Fascine en fagot de branches de saules en 2,5m, diamètre 26 à 30 cm, disposés entre pieux en quinconce sur une hauteur de 0,5m (4)	61,5	28,0	1722
Terrassement au m3 (1)	30,0	889,4	26681
Agrafes (2 au m2) (5)	0,6	823,4	452,87
Agencement de blocs en place (au m3) (5)	28,0	14,4	403,2
Pieux (tous les 0,6m) (5)	3,0	194,4	583,3
Granulat frayères à truite (matériaux alluvionnaire 60/65mm) au m3 (6)	224,0	43,1	9660
Blocs calcaire (300/500mm) au m3 (6)	131,7	5	658,5
Passerelle sans la pose	4000,0	1	4000
Panneau explicatif	549	1,0	549
Ramilles et plan de saules	prélèvement sur place		
Blocs et galets	prélèvement sur place		
Main d'œuvre et aléas	9793,8		
Prix total hors taxe (en euros)	58762		

Puisqu'il n'y aura pas de transport solide provenant du lac, il est nécessaire d'apporter des alluvions dans le lit du ruisseau. C'est pourquoi, il a été choisi de mettre des granulats pour frayères à truites sur le tracé du ruisseau ainsi que des blocs calcaires de taille plus élevée. D'autres blocs extraits du déblayage seront utilisés.

Il y a la possibilité de diminuer les coûts sur certaines matières premières. En effet, les espèces arbustives peuvent être prélevées directement à proximité du milieu. Il en est de même, pour les blocs qui pourront être récupérés directement du terrassement. Il y aura uniquement un coût de main-œuvre. Il convient de préciser que ce budget est établi en « hors taxes »

Hormis les travaux lourds tels que le terrassement nécessitant l'intervention d'entreprises de travaux public, le SMIAC pourra assurer la réalisation des travaux d'ampleur moins importante. En effet, Mr GRILLET Pascal, Technicien du SMIAC, m'a indiqué que le SMIAC était en train de monter une équipe d'entretien des rivières qui pourrait réaliser ce genre d'opération.

III.1.5. Bilan du projet

Dans cette partie, il a été expliqué le projet qui sera mis en place. Celui-ci permet de passer d'une buse enterrée à un ruisseau fonctionnel. En effet, celui-ci permettra aux espèces de s'y installer et d'y établir leur cycle biologique. Un grand nombre d'espèces pourra y être présent puisque le ruisseau a été conçu pour qu'il y ait différents milieux de vie puisqu'il y aura des vitesses d'écoulement différentes, des zones de repos, des méandres, des berges en saules et en blocs. Cet aménagement respecte bien les objectifs voulus sans compromettre les usages présents et la fonctionnalité de l'exutoire.

III.2. Enrayer le processus d'eutrophisation

III.2.1. Présentation générale

Le projet consisterait à planter des plantes aquatiques filtrantes sur certaines parties du lac et à installer des radeaux flottants végétalisés afin d'utiliser les nutriments apportés dans le lac dans le but de limiter le processus d'eutrophisation et de potentielles pollutions du Chéran et de sa nappe.

Les plantes épuratrices apportent de l'oxygène aux bactéries situées sur leurs racines ; ces bactéries transforment la matière organique en matière minérale et nutriments. Par la suite, la plante peut se nourrir de ces nutriments et absorbe des éléments tels que les nitrates, le phosphore. Elles peuvent également stocker des métaux lourds. Les propriétés épuratrices des plantes sont très largement utilisées pour traiter les eaux usées ou encore pour les piscines écologiques.

Malgré de nombreuses actions pour diminuer les pollutions, il a été montré que, souvent, il n'y a aucun résultat significatif s'il y a une limitation des actions à la seule lutte contre la pollution [21]. Les actions doivent être en lien avec des actions sur le milieu physique, c'est pourquoi cette proposition est faite.

III.2.2. Contextualisation

Une orientation du SDAGE Rhône Méditerranée inclut dans ses orientations qu'il doit y avoir une lutte contre les pollutions (orientation n°5). De plus, la disposition 5 A du SDAGE indique qu'il faut adapter les dispositifs en milieu rural en favorisant l'assainissement non collectif ou semi-collectif [21].

Il est donc important de lutter contre la pollution qui passe par diverses actions. Ce projet s'inscrit dans une démarche de diminuer la quantité d'éléments minéraux polluant le lac afin d'améliorer la qualité du milieu et de ne pas impacter le Chéran.

III.2.3. Des radeaux végétalisés

III.2.3.1. Présentation des caractéristiques

Les radeaux végétalisés sont des structures flottantes pouvant être fixes ou non. Ces radeaux sont composés de nombreuses espèces d'hélophytes. La formule de plantes retenue par un technicien d'Aqua Terra en fonction de notre milieu visible en annexe 11.

Ces plantes auront la capacité de résister à notre milieu (jusqu'à 1200 mètres d'altitude) et d'offrir une qualité paysagère en plus de leur épuration.

Le fonctionnement de ces radeaux est visible sur la figure 35, il est comparable à la culture en hydroponie. En effet, les plantes installées développent leurs racines dans l'eau puis y prélèvent les éléments nutritifs, ce qui participe au processus d'épuration des eaux tout comme le développement microbien dans la rhizosphère, il s'y développe tout un micro-écosystème. La couverture des plans d'eau par le radeau peut diminuer la température de l'eau et faire obstacle aux UV, ce qui limite le développement algal.

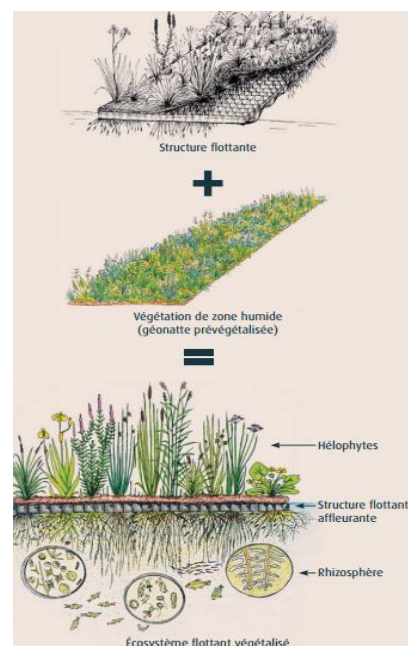


Figure 35 : Principe de fonctionnement d'un radeau végétalisé

Source : AQUATERRA SOLUTIONS®

On voit sur les trois graphiques ci-dessous, que suite à l'installation de ces radeaux, il a été constaté dans tous les cas une diminution des rejets algaux, des matières en suspension ou encore de la pollution organique. Sur certains programmes, il a pu être observé jusqu'à 80% de réduction des phosphates et nitrates [24].

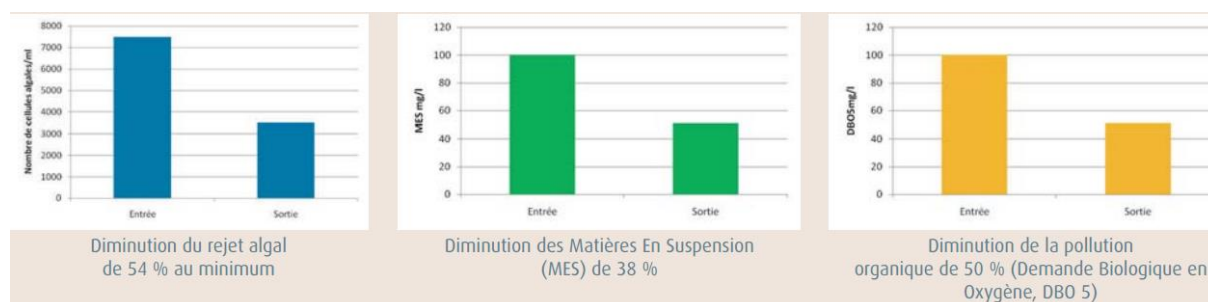


Figure 36 : Graphique des résultats des radeaux végétalisés sur différents paramètres, lors d'essais menés en Allemagne et au Royaume-Uni en laboratoire et sur site-test. Source : AQUATERRA SOLUTIONS®

La fonction de cette installation ne se limite pas à l'épuration des eaux. En effet, elle permet le réaménagement de gravières, un aménagement paysager ou encore une amélioration de la biodiversité en créant un petit écosystème servant de refuge piscicole ou d'aire de repos et/ou de nidification [25].

III.2.3.2. Réalisation technique

Le modèle choisi serait une structure flottante modulaire semi-rigide (2x 1m) pouvant résister à des contraintes hydrauliques et éoliennes plus élevées que les structures souples [26]. Le panneau est en polyéthylène recyclé, à basse densité ; il est recouvert de GéoNatte Coco plantée d'hélophytes. La flottaison est réalisée par des flotteurs imputrescibles à cellules germées, intégrées dans le module. En sous-face, il y a la présence d'une membrane géotextile afin de protéger les racines des vagues. Ces structures sont modulaires et reliables entre-elles.

La mise en œuvre est facile, les îlots sont assemblés sur la berge puis déplacés jusqu'à la zone voulue à l'aide de cordes ou d'un bateau.

Au total, 26 radeaux végétalisés pourront-être installés. Leur localisation est référencée sur la figure n° 37.

Quatre radeaux seront positionnés de part et d'autre de la petite île existante afin d'augmenter la zone végétalisée et de faciliter l'encrage des structures. Les radeaux seront fixés par des élingues de manière à ce qu'ils puissent bouger légèrement et suivre les variations du niveau d'eau.



Figure 37 : Cartographie des radeaux végétalisés.

Source : Géoportail. Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.Net

Les 22 autres radeaux assemblés seront positionnés sur une bordure d'une longueur de 44 mètres. Cette zone est bordée d'arbres et n'est pas accessible pour les pêcheurs, ce qui n'entraîne aucune gêne à cette activité. De plus, il semble difficile de planter des plantes à cet endroit en raison de l'encombrement de la bordure par les arbres ; il faudrait en arracher certains, c'est pourquoi l'installation des radeaux à cet emplacement semble adaptée.

Tableau 16 : Coût du projet. Source : technicien Aquaterra

Prix unitaire module (HT)	170	4420
Géo natte coco 5m ² (HT)	130	1352
3 kits de lestage (HT)	15	75
Total (HT)		5847

Le coût de ces 26 radeaux végétalisés s'élève à 5847 euros hors taxes comme le montre le tableau 16. L'installation pourra être livrée et installée par Aquaterra. L'entretien est minime ; il pourra se réaliser par L'AAPPMA qui gère les berges du plan d'eau. Au total c'est 52m² de radeaux qui seront installés. Néanmoins, cette superficie reste faible par rapport à la surface du lac. Pour avoir une efficacité optimum, il faudrait planter 1/3 de la surface du lac ; néanmoins, cela soulève quelques problèmes comme la diminution de la surface pour la pêche. Cependant cette proposition pourra être amplement développée par la suite s'il est constaté une amélioration du milieu (qualité, biodiversité) et devra être couplée à d'autres actions pour réduire les apports de nutriments dans le lac. Les études sur cette technique innovante ne sont pas encore achevées, elles le seront d'ici 3 ans afin d'avoir des résultats précis sur l'utilisation des différents nutriments pour chaque espèce de plantes permettant par la suite d'avoir un rendement optimum pour traiter les eaux.

III.2.4. Des plantes épuratrices sur les berges.

III.2.4.1. Description du projet

Sur certaines zones du plan d'eau, il sera installé une plante épuratrice afin de compléter la fonction des radeaux flottants et de diversifier les berges. L'espèce retenue est l'iris pseudoacorus- Iris des marais visible sur la figure 38.



Figure 38 : Iris des marais.

Source : Quite Adept/CC BY NC ND 2.0/Flickr

Le tableau n° 17 nous présente les caractéristiques de cette plante. Cette espèce est rustique et est tout à fait adaptée à notre milieu. Sa période de floraison se fait de mai à juillet ; il sera possible d'observer ses fleurs jaunes tout autour du lac ce qui améliorera la qualité paysagère du site.

Son entretien est faible si ce n'est que de diviser la touffe de plante qui devient trop dense pour la replanter plus loin ; cette opération s'effectue en automne tous les trois ou quatre ans [27].

Tableau 17 : Caractéristiques de l'iris pseudoacorus

Source : www.aujardin.info . Modifié par Aymeric LE CAVIL

Distribution	Europe
Densité	3 par m ²
Profondeur d'eau	0 à -30 cm
Exposition	Soleil, mi-ombre
Rusticité	(-29°C -23°C)
Taille adulte	80 cm
Valeur épuratrice	50/100
Milieu	Berges, marres (riche en MO et nutriments)

III.2.4.2. Zone d'implantation

Les plants seront installés sur 4 zones comme le montre la figure 39. Ces zones correspondent à des lieux peu accessibles du bord par les pêcheurs ; leur présence ne gênera donc pas cette activité. Il faudra prendre soin de les planter dans l'eau à une profondeur inférieure à 30 cm.

Au total il y aura 133 m² alloués à cette plante, pour une densité de 3 plants au mètre carré : cela nécessite l'installation d'environ 400 pieds pour un coût à l'achat de 1700 Euros [27].



Figure 39 : Zone d'implantation de l'iris des marais.
Source : Géoportail . Auteur : Aymeric LE CAVIL

Il aurait pu être proposé d'autres plantes telles que des pesses d'eau (*Hippuris vulgaris*) permettant une oxygénation de l'eau. Cependant, sa prolifération est difficilement contrôlable, tout comme pour le roseau d'étang (*Typha latifolia* L.).

Avant la réalisation de ces aménagements, il est possible de réaliser un forcadage afin d'enlever les algues et herbiers existants et de favoriser le captage des nutriments par les nouvelles plantes installées.

III.2.5. Bilan des sous projets pour lutter contre l'eutrophisation

Il existe de nombreuses techniques pour lutter contre l'eutrophisation d'un plan d'eau. Elles peuvent être chimiques, mécaniques, physiques ou encore biologiques, comme nous l'avons proposé. Cette proposition est soucieuse de la qualité et du respect du site et n'engage aucun moyen lourd et coûteux à mettre en place.

Ces propositions d'aménagements répondent aux problèmes d'eutrophisation du lac et permettraient une amélioration de la qualité du milieu, une amélioration paysagère et une multiplication des habitats pour les espèces aquatiques.

La solution ne se limite pas à cet aménagement. Elle passe par la prise en compte des usagers sur l'utilisation de produits courants ayant un impact sur la qualité de l'eau, sur les pratiques agricoles ou encore la mise aux normes de dispositifs d'assainissement. Les exploitants des systèmes d'assainissement ou les structures administratives peuvent sensibiliser les différents usagers.

Pour finir, des mesures de la qualité de l'eau devraient être réalisées afin de connaître précisément les différents paramètres physico-chimiques du milieu et les différents polluants pour pouvoir proposer les espèces les plus adaptées. De même, il faudrait connaître exactement les sources de pollution et en quelle proportion elles polluent afin d'agir le plus efficacement possible.

III.3. Mise en place d'un panneau pédagogique

Comme indiqué précédemment, il pourrait y avoir une valorisation faite autour des différents aménagements réalisés sur ce site. Pour cela, un panneau explicatif sera installé à l'entrée du site. Il faudra mandater une entreprise spécialisée dans la conception de panneaux pédagogiques, ce panneau pourrait ressembler à celui que j'ai établi ci-dessous :



Syndicat Mixte
Interdépartemental
d'Aménagement
du Chéran
SMIAC

Aménagement du plan d'eau du Châtelard

Le projet d'aménagement du plan d'eau a été porté par le Syndicat Mixte Interdépartemental D'aménagement Du Chéran (SMIAC).

Cette structure gère le bassin versant du Chéran. Les travaux précédents ont porté sur l'amélioration de la qualité de l'eau, la restauration morphologique du Chéran, l'entretien des berges et du lit des cours d'eau ainsi que la mise en valeur des milieux aquatiques.

Actuellement, le SMIAC continue ses efforts tout en prenant en compte de nouvelles problématiques telles que la lutte contre les pollutions, le suivi de la ressource ou la préservation de l'espace de liberté des cours d'eau.

Réhabilitation de l'exutoire

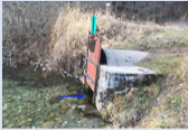


Figure 1 : Buse avant travaux

Figure 2 : Après travaux

❖ Pourquoi changer le système en place ?

- Vitesse d'écoulement trop forte, obscurité, rugosité
 - Ouvrage limitant la libre circulation des espèces

❖ Objectifs de l'aménagement :

- Amélioration de la continuité écologique
- Retour au « naturel » d'un milieu modifié
- Aspect pédagogique (espèces facilement observables)

Limiter l'eutrophisation du plan d'eau

❖ Qu'est-ce que l'eutrophisation ?

- Enrichissement du milieu en matière minérale favorisant le développement algal ; à terme ce processus cause le comblement d'une zone humide. Il peut être amplifié par les activités humaines.

❖ Mesures prises : installation de plantes aquatiques épuratrices et de radeaux flottants végétalisés

❖ Objectifs :


- Limiter l'eutrophisation du lac
- Améliorer la qualité du milieu + qualité paysagère
- Aspect pédagogique : sensibilisation des usagers sur leurs habitudes



Figure 3 : Système de radeaux mis en place

❖ La solution ne se limite pas à cet aménagement, il faut :

- Diminuer l'utilisation des produits courants ayant un impact sur la qualité de l'eau (lessives etc.).
- Adapter les pratiques agricoles
- Mettre aux normes les dispositifs d'assainissement
- Sensibiliser sur les gestes à adopter pour préserver une bonne qualité de l'eau et de l'environnement



Chambéry métropole
Cœur des Bauges
Développement & Environnement

Figure 40 : Exemple de panneau explicatif.
Auteur : Aymeric LE CAVIL

III.4. Modélisation d'ensemble et estimation global des coûts

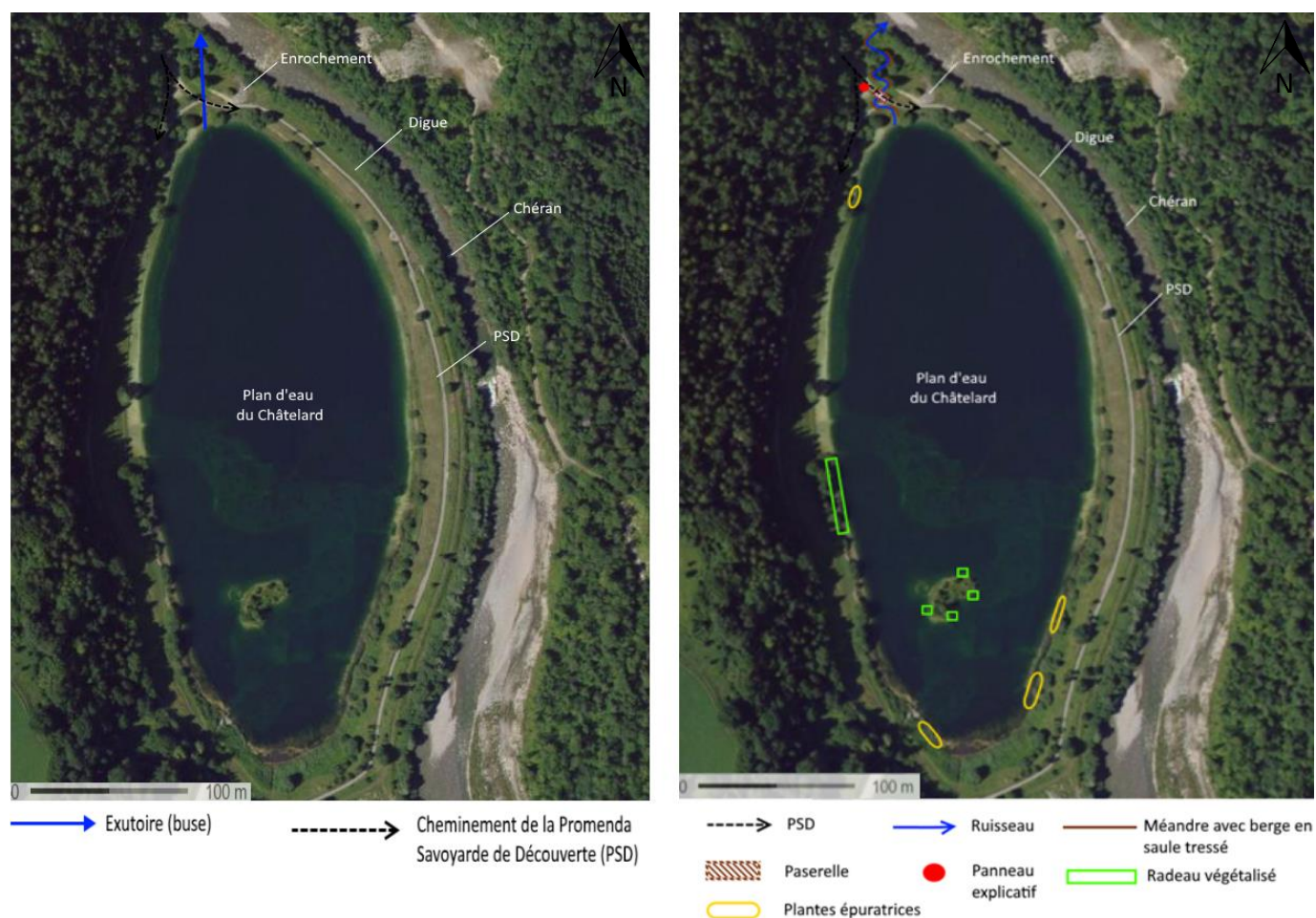


Figure 41 : Représentation du plan d'eau du Châtelard avant et après aménagements.
Source : Géoportail. Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.NET

La figure 41 permet une visualisation du lac avant et après l'aménagement des trois sous projets, cette carte est consultable sur l'annexe 12.

Il a été estimé au total à environ 66 000 euros les trois sous projet d'aménagements comme le montre le tableau 18.

Tableau 18 : Coût des aménagements

Prix de la totalité des aménagements (HT)	
Ruisseau	58762
Radeaux végétalisés	5847
Plantes épuratrices sur les berges	1700
Total	66309

Le financement du projet pourrait se faire grâce à divers acteurs dont le SMIAIC, pouvant être porteur de ce genre de projet. L'AAPPMA du Haut Chéran, la fédération de pêche de Savoie et le Parc naturel des Bauges sont également susceptible de soutenir financièrement ce genre de projet qui les concerne directement). Pour finir, des plus grandes entités telles que le Conseil Départemental de Savoie et l'Agence de l'Eau Loire Méditerranée Corse peut apporter des subventions pour la réalisation du projet.

IV. Conclusion

Le site sélectionné pour cet exercice et situé sur la commune du Châtelard, située au cœur du parc naturel régional du Massif des Bauges. Le territoire est préservé tout en étant attractif. Cette petite commune rurale a la particularité d'être propriétaire d'un lac issu de l'extraction de granulats dans les années 1980. Ce plan d'eau est resté préservé depuis sa création puisque peu d'aménagements y ont été réalisés, hormis une promenade. Il existe très peu d'informations sur ce plan d'eau et son fonctionnement est mal connu.

C'est avec le Syndicat mixte interdépartemental d'aménagement du Chéran que l'idée de réaliser un exercice sur ce lac a été évoqué. Cette occasion permettrait d'apporter des informations sur le fonctionnement du plan d'eau et de proposer des solutions d'amélioration.

Suite à de nombreuses recherches bibliographiques, des sorties de terrains et des rendez-vous il a pu être collecté un grand nombre d'informations, cruciales pour la réalisation de l'état des lieux du site d'étude.

En effet j'ai pu à partir de ces données réaliser une présentation générale du site (localisation, caractéristiques, réglementation etc.). Par la suite j'ai pu travailler de manière plus détaillée sur le plan d'eau en lui-même pour identifier des situations perfectibles et le justifier. Ce qui n'a pas été facile à cause du manque de connaissance (absence d'études scientifiques) sur le plan d'eau.

Lors de cette phase ont pu être identifiées deux problématiques. La première concerne la buse servant d'exutoire et se rejetant dans le Chéran. Elle est un problème car elle ne permet pas une libre circulation des espèces aquatiques entre le Chéran et le plan d'eau, de plus le nombre d'espèces vivant dans la buse est très limité.

La seconde problématique concerne l'eutrophisation du plan d'eau, il n'y a pas d'étude physico-chimique l'attestant mais il a pu tout de même être mis en avant cette hypothèse grâce à différents éléments. En effet l'abondance d'algues et les tapis algaux laissent penser à une forte concentration en nutriments dans le plan d'eau. De plus, des sources de pollutions ont pu être identifiées. Pour finir, une étude sur le plan d'eau de Lescheraines avait mis en avant la présence de nitrates et phosphates, ce qui vient appuyer notre hypothèse

Au vu de ces situations il semblait indispensable de proposer des solutions d'amélioration. Tout d'abord il a été proposé d'aménager un ruisseau à la place de la buse enterrée. Ce dernier serait fonctionnel puisqu'il serait en eau toute l'année et comporterait des habitats variés (blocs, tressage de saules, zones de calmes, de courant, méandres etc...), les espèces s'y installeront et pourront établir leur cycle biologique. De plus, la libre circulation entre le plan d'eau et le Chéran serait rétablie.

A travers la phase du projet il a été démontré la faisabilité de cette proposition. Il sera nécessaire de réaliser un avant-projet afin d'acquérir plus de données. Par exemple il serait nécessaire de connaître précisément les apports et les pertes du lacs ainsi que les débits écoulés par l'exutoire. Des relevés topographiques ainsi qu'un modèle numérique de terrain devront être réalisés.

Il a été montré que cet aménagement répondait à une réelle problématique qui est d'actualité avec la trame verte et bleu. Ce ruisseau ne modifierait pas les usages existant ce qui est important pour la viabilité du projet. De plus, il répond aux objectifs qui sont de réaliser un ruisseau fonctionnel, rétablir une continuité écologique et renaturer le site tout en préservant le milieu et les espèces.

Dans une dernière partie seront proposées des solutions pour lutter contre le processus d'eutrophisation. Il a été choisi une technique biologique car nous sommes dans un milieu préservé et qu'il est important de le respecter et de ne pas le perturber.

Des radeaux végétalisés, composés de différentes essences de plantes épuratrices seront installés sur différentes zones du lac. Ces zones ont été choisies de manière à ne pas gêner la pratique de la pêche et là où il semblait difficile de planter des espèces en bordure à cause de la présence d'arbres et arbustes. Au-delà de réaliser une épuration de l'eau ces plantes permettront le développement d'une biodiversité et une amélioration paysagère. Dans la même idée il sera par la suite installé des plantes épuratrices cette fois-ci sur les berges du plan d'eau là où la végétation ne gênera pas et là où elles n'empêcheront pas la pratique de la pêche. Elles permettront également une épuration de l'eau, une amélioration paysagère et une diversification des berges du plan d'eau.

Pour finir les aménagements réalisés sur le site pourront être mis en valeur avec l'installation d'un panneau explicatif. Il sera positionné à la jonction du ruisseau et de l'arrivée sur le site juste avant de traverser le ruisseau sur une passerelle. Il sera expliqué le Rôle et les missions du SMIAC ainsi que différents aménagements réalisés sur le site. Il y sera également expliqué dans quel but ils ont été réalisés, les pratiques à adopter pour la préservation de l'eau et de la qualité de l'environnement.

Bibliographie / webographie

- [1] : LEFEVRE. T. *La répartition de l'eau sur la Terre. [En ligne]*. © Planète viable. 2013. [23/05/2017]. <http://planeteviable.org/repartition-eau-sur-terre/>.
- [2] : les-aides.fr. [02 /04 /2017]. Disponible sur : <http://les-aides.fr/fiche/aJfAG5Rx.3B/>
- [3] : Sandre.eaufrance. [02/04/2017]. Disponible sur : http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche_courdo.php?CdSandre=V1250500
- [4] : cheran.fr. [23/05/2017]. Disponible sur : <http://www.cheran.fr/-Le-Cheran-.html>
- [5] : Wikipédia. [02/04/2017]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ch%C3%A9ran>
- [6] : COLLET.P. AAPPMA du Haut-Chéran Mission d'expertise pour la valorisation touristique des lots de pêche de l'association, notamment des plans d'eau. URL A2H. 2016.22p.
- [7] : Savoie Mont Blanc. [02/04/2017]. Disponible sur : <http://www.savoie-mont-blanc.com/offre/fiche/promenade-savoyarde-de-decouverte-des-iles-du-cheran/543187>
- [8] : Wikipédia. [02/04/2017]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cor%C3%A9gonne_blanche
- [9] : Les services de l'Etat dans le Gers. [02/04/2017]. Disponible sur : <http://www.gers.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement/Peche/Classement-des-cours-d-eau-en-1ere-et-2eme-categorie-piscicole>
- [10] : Préfet de la Corèze. [27/02/2017] Disponible sur : <http://www.correze.gouv.fr/Politiques-publiques/Nature-et-environnement/Police-de-l-eau/Plans-d-eau/Les-differentes-categories-de-plans-d-eau>
- [11] : Le Châtelard-PLU-PROJET révision n°2 –Approbation. *Dispositions applicables aux zones naturelles N.* [en ligne]. www.lechatelard.fr. [23/05/2017]. http://www.lechatelard.fr/UserFiles/Brochure/broch_11_plu-zone-n.pdf
- [12] : CADILHAC.L, DODELIN.C & al. *Hydrogéologie karstique du massif des Bauges: état des connaissances et contributions de Michel Lepiller aux recherches fondamentales et appliquées*. CFH – Colloque.2008. Disponible sur : http://www.polytech.free.fr/colloque_MichelLepiller/Actes/actes%20pdf/Hydrog%C3%A9ologie%20karstique%20du%20massif%20des%20Bauges.pdf
- [13] : PNR BAUGES (LOPEZ J-F.), 2016.- 820031233, Plateau du Margériaz. - INPN, SPN-MNHN Paris, 6P. [02/04/2017]. <http://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/820031233.pdf>.
- [14] : CHANSEAU.M, LARINIER.M, OVIDIO. Michaël & al. *Evaluer le franchissement par les poissons. Principes et méthodes. Rapport*. ONEMA.2014. Disponible sur : <http://www.onema.fr/sites/default/files/CPA-ICE-integralite-juillet2014.pdf>
- [15] : Passes à poissons – expertise, conception des ouvrages de franchissement. LARINIER Michel, PORCHER Jean-Pierre, TRAVADE François, GOSSET Claude, Conseil Supérieur de la Pêche, Paris, Collection « mise au point », 336 p, 1994.

- [16] : legifrance.gouv.fr. [23/05/2017]. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000226173>
- [17] : CNRS.fr. [02/04/2017]. Disponible sur : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>
- [18] : Parcdesbauges.com [04/02/2017]. Disponible sur : <http://www.parcdesbauges.com/fr/mentions-legales.html#.WOFYoWc6-M8>
- [19] : legifrance.gouv.fr [23/05/2017]. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220&idArticle=LEGIARTI000022478024&dateTexte=&categorieLien=cid>
- [20] : SDAGE 2016-2021. Bassin Rhône-Méditerranée version présentée au comité de bassin du 20 novembre 2015. [02/04/2017]. Disponible sur : http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/sdage2016/elaboration/cb_20151120/20151106-RAP-SdagePourAdoption-v00.pdf
- [21] : SDAGE 2016 - 2021 du bassin Rhône-Méditerranée. Intégrer la gestion des espèces de la faune et de la flore dans les politiques de gestion de l'eau. Orientation fondamentale n°6.2015. [23/05/2017]. Disponible sur : <http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/sdage2016/docs-officiels/OF/20151221-RAP-SdageOF6C.pdf>
- [22] : Rapport d'orientations stratégiques de la seconde Charte du Parc, 2007-2019. Rapport d'Orientations Stratégiques. [en ligne] .2006. [23/05/2017]. Disponible sur : http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/mediatheque/votre_parc/PNRMB%20Charte%202007_2019%20Rap%20Orient%20strategiques.pdf
- [23] : Aquaterra. [15/05/2017]. Disponible sur : <http://www.genie-vegetal.eu/page/55/4-5--tressate-de-saule.htm>
- [24] : Aquaterra solutions®. Îles flottantes - radeaux végétalisés. [24/05/2017]. Disponible sur : <http://www.oekon-vegetationstechnik.de/documents/InfoaufFranzosisch.pdf>
- [25] : Aquaterra solutions® les îles flottantes ou radeaux végétalisés . [en ligne] . (Chap 11 p154-161) Disponible sur : http://www.aquaterra-solutions.fr/pdf/guides_ats/GUIDEATS-CHAP11.pdf10/05/2017.
- [26] : Aquaterra. [07/05/2017]. Disponible sur : <http://www.genie-vegetal.eu/page/80/radeaux-vegetalises--iles-flottantes.htm><http://www.genie-vegetal.eu/page/80/radeaux-vegetalises--iles-flottantes.htm>
- [27] : Mon Eden. [02/05/2017]. Disponible sur : <https://www.moneden.fr/article/iris-pseudoacorus#fArt3>

Fiches de lecture n° 1

Information sur la Continuité Ecologique- ICE. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. 2014. Jean-Marc BAUDOIN, Vincent BURGUN & al .

Disponible sur : <http://www.onema.fr/sites/default/files/CPA-ICE-integralite-juillet2014.pdf>

Chapitre A : Continuité écologique et ichtyofaune

Chapitre C : Diagnostic de la franchissabilité à la montaison « Cas des ouvrages routiers ou ferroviaire »

Présentation :

Ce rapport a été élaboré par l'ONEMA, établissement public sous tutelle du ministère de l'Ecologie. Organisme technique de référence sur la connaissance des milieux aquatiques et sa surveillance. Cet organisme vise à la reconquête de la qualité des eaux et l'attente de leur bon état, fixés par la directive cadre sur l'eau.

Ce rapport a le but de faire comprendre à chacun la méthodologie développée pour l'appliquer et l'utiliser sur le terrain « comprendre pour agir ». Il présente les enjeux de la continuité écologique, les principes scientifiques ainsi que le protocole ICE, méthodologie nationale de production d'Informations sur la Continuité Ecologique.

L'objectif souvent visé est une restauration ou une préservation de la continuité écologique permettant d'enrayer le déclin de la biodiversité. En effet, la biodiversité connaît actuellement une des plus rapides crises d'extinction jamais connues. L'homme est à la base de cette dégradation notamment à cause des pressions chimiques (pollutions de l'eau, des sols etc.), et du sur-prélèvement mais aussi des pressions physiques telles que la destruction ou la rupture d'accès aux habitats indispensable au maintien des espèces. Concernant les milieux aquatiques, les ouvrages hydrauliques sont l'une des premières causes de dégradation de la continuité écologique. Ils engendrent parfois une fragmentation des habitats, cinquième facteur majeur d'érosion de la biodiversité.

Chapitre A : Continuité écologique et ichtyofaune

Ce chapitre rappelle les enjeux biologiques concernant la libre circulation piscicole ainsi que les différents modes de franchissement des espèces. Le franchissement des espèces nécessite une connaissance éthologique des espèces étudiées et leurs aptitudes physiques. Le chapitre met également en avant les différents types d'obstacles physiques rencontrés par la faune piscicole et les impacts sur cette dernière.

Après la lecture de ce chapitre, j'ai identifié que la buse servant d'exutoire pour le plan d'eau du Châtelard ressemblait étroitement aux ouvrages routiers, autoroutiers et ferroviaires décrits dans le rapport. Je me suis donc appuyé sur leurs caractéristiques afin de décrire mon ouvrage et de confirmer et d'identifier des sources de problèmes.

J'ai pu confirmer que le phénomène de dévalaison était bien existant et que, dans certains cas, il pouvait engendrer des blessures, résultant de la hauteur de chute et de l'arrivée des poissons sur une fosse de dissipation trop peu profonde ou un contact avec les rochers.

L'ouvrage hydraulique présente également des contraintes pour la montaison des poissons, comme décrit dans le rapport. En effet l'ouvrage est obscur, l'impact de l'obscurité est plus ou moins variable en fonction des espèces et de leur stade de développement.

Il a également été mis en avant que la hauteur de la lame d'eau rendait difficiles la nage et la progression du poisson ce qui fait de ce paramètre un facteur limitant à la remontée des poissons.

Un grand nombre d'autres critères et exemples sont cités ; néanmoins, seuls ont été retenus ceux concernant notre ouvrage hydraulique précisément.

Chapitre C : Diagnostic de la franchissabilité à la montaison. Cas des ouvrages routiers ou ferroviaires (122-138)

Dans ce chapitre, il est possible de trouver des calculs et des tableaux récapitulatifs pour chacun des grands types d'obstacles. Il traite aussi des contraintes topographiques, hydrauliques et hydrologiques afin de faciliter l'élaboration d'un diagnostic. Il y a également la présence de nombreux graphiques et figures facilitant l'interprétation des explications et des calculs.

Dans cette partie, il a été répété certaines caractéristiques citées dans le chapitre A telles que l'obscurité ; néanmoins il a apporté beaucoup d'autres informations plus précises.

En effet, à partir de ce chapitre il a pu être vérifié que la buse en béton présente une faible rugosité, que l'eau peut y subir une accélération importante induisant des vitesses élevées par rapport à la capacité de nage des poissons. Il a pu être identifié le groupe d'espèce présentes sur la zone d'étude (Groupe 4a / 4b et groupe 10). A partir de ces informations, j'ai pu croiser les graphiques de l'évolution de la distance parcourue en fonction de la vitesse de l'écoulement pour les espèces voulues ; ces figures sont visibles dans le PIND. Cela m'a permis de réaliser un bilan sur la franchissabilité de l'ouvrage avec les données à disposition. Je me suis également servi de ressources et graphiques de MR LAARINIER, expert dans ce domaine.

Suite à la lecture de ces deux chapitres ainsi que des sous parties, j'ai pu acquérir un grand nombre de connaissances m'ayant permis de mettre en avant les problèmes engendrés par l'exutoire du plan d'eau du Châtelard. Il semble que ce dernier soit un frein à la libre circulation des espèces aquatiques.

Fiche de lecture n°2

Plan d'eau de Lescheraines. Limitation du développement de végétaux aquatiques dans le grand plan d'eau de Lescheraines. 1986. Université de Savoie, laboratoire de biologie-écologie.

Document transmis par le professeur Gérard Merlin, responsables des études-Site du Bourget du Lac. Ecole d'ingénieurs : Polytech Annecy-Chambéry. Laboratoires : LOCIE UMR CNRS 5271. Université de Savoie. 73376 Le Bourget du Lac. 04 79 75 88 16.

Présentation :

Ce document a été réalisé suite au développement important de la végétation aquatique dans le plan d'eau de Lescheraines. En effet il était important d'identifier les causes de ces développements de végétaux qui à plus long terme pourraient aggraver le processus d'eutrophisation et détériorer la qualité de l'eau. Ces détériorations n'étaient pas envisageables car ce plan d'eau abrite une base de loisir attractive.

Ce document m'a été utile car il retrace l'historique de la création du plan d'eau de Lescheraines qui est similaire à celle du Châtelard. La création du plan d'eau de Lescheraines était inscrite dans le programme d'aménagement de la plaine alluviale du Chéran. Il est le résultat de la mise en eau d'une carrière d'extraction dans les années 1980, tout comme le plan d'eau du Châtelard. Un enrochement a été créé en 1978 afin de protéger le plan d'eau et la base de loisir des crues du Chéran, les mêmes travaux ont eu lieu pour celui du Châtelard. Il est possible de visualiser dans les annexes du document, les schémas de la digue.

Dans l'étude il y a une description des caractéristiques géophysiques, Il est distingué deux périodes, les hautes et basses eaux ainsi que d'autres paramètres telle que le volume et la superficie. Un bilan hydrique a été réalisé, il fait l'inventaire sur les différents modes d'alimentations du lac (2 affluents) et pointe l'importance des apports liés à la nappe du Chéran (90%). Il a également été calculé l'évaporation qui est cruciale pour déterminer les pertes. Ces données ont été des éléments clefs pour l'élaboration de mon projet. En effet en l'absence d'étude sur le plan d'eau du Châtelard j'ai été obligé de faire des hypothèses à partir de ce plan d'eau et de me baser sur son fonctionnement. J'ai donc utilisé les informations et valeurs trouvées dans ce rapport que j'ai ajusté au plan d'eau du Châtelard.

Dans la dernière partie de cette étude il est présentée un bilan et un diagnostic qui nous apprennent que les deux périodes conditionnent le comportement du plan d'eau. La première période est d'octobre à juin et les apports sont maximum, la seconde est de juillet à septembre, les eaux y sont à 20°C et le développement algale est important à cette période.

Il a été identifié que la végétation présente est typique d'eau alcaline, que l'eutrophisation est dû à la sédimentation des végétaux lors de leur sédimentation L'eutrophisation était avancée dans une partie du lac et la végétation se développait entre 4 et 4.5m. Les analyses ont révélé que les eaux d'infiltrations (à travers la digue) sont polluées par des éléments comme les nitrates et les phosphates qui favorisent le développement des algues.

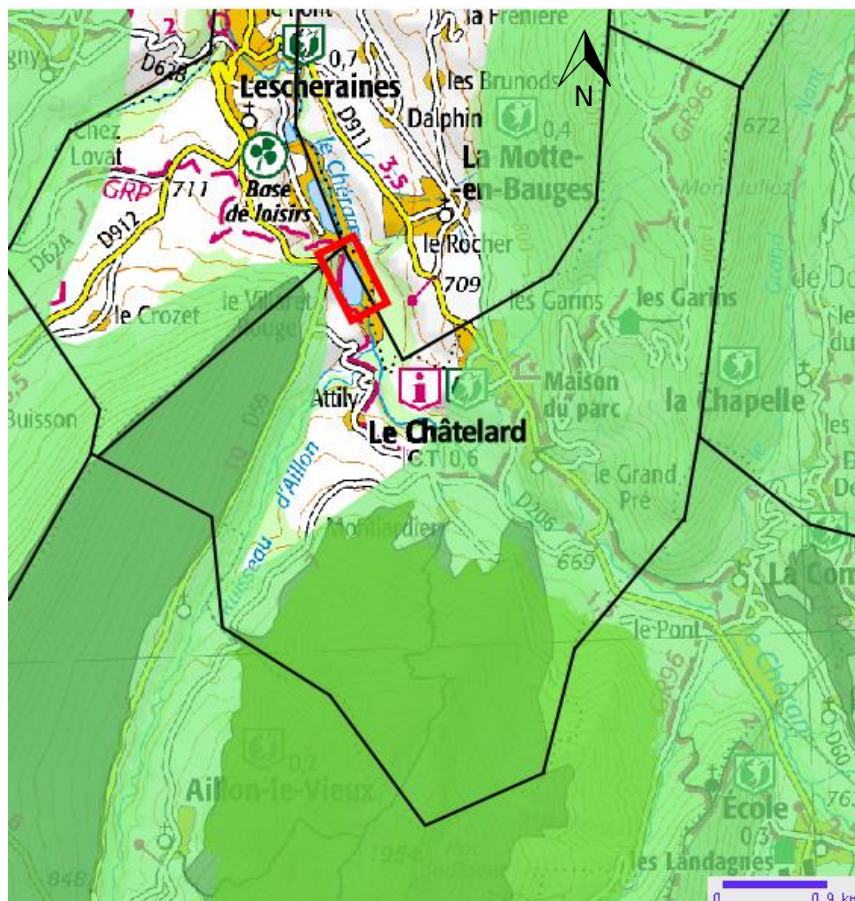
En conclusion il est évoquée que les pollutions proviennent des apports (nappe alluviale, ruisseaux et Chéran) et qu'elles sont responsable du développement de la végétation aquatique dans le plan d'eau de Lescheraines. Les solutions envisageables sont de supprimer les rejets domestiques et agricoles non traités.

Annexes

Annexe 1 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et 2 et des zones Natura 2000.

Source : carto.georhonealpes.fr

Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.NET



- Natura 2000
- Znieff de type 1
- Znieff de type 2
- Découpage communal

Annexe 2 : Résultats de l'étude réalisée en 1986 sur le plan d'eau de Lescheraines.

Source : fiche de lecture n°2

	"BASSES EAUX"	"HAUTES EAUX "		APPORTS MOYENS MAXIMA	APPORTS MOYENS MINIMA
EPOQUE	octobre à juin	juillet à septembre	RUISSEAU N° 1 (A) m3/H	40	7,2
DUREE en mois	9	3	RUISSEAU N° 2 (B) m3/H	70	0
SUPERFICIE (=S) en Ha *	3,8	4,2	DEVERSOIR (C) m3/H	1003	120,7
PROF. MAX. (=Zm) en m	5,50	6,70	NAPPE + INFILTRATIONS (=C-(A+B)) m3/H	893	113,5
PROF. MOY. (=Z) en m	3,85	4,70	VOLUME MOYEN DU PLAN D'EAU en m3	150.000,00	200.000,00
VOLUME ESTIME (V) en m ³ **	150.000,00	200.000,00	TEMPS MOYEN DE RENOUVELLEMENT en jours	6,5	64

Annexe 3 : Calcul des apports de surface. 3
Auteur : Aymeric LECAVIL

Partie II	1) Détermination des surfaces du BV			
	Type de surface	Surface (m2)	Pourcentage	Coeff de ruissèlement
	Toiture	3489	0,57	1
	Prairie	137355	22,44	0,2
	Forêt	400739	65,48	0,1
	Route	8917	1,46	0,9
	Gravier	5100	0,83	0,6
	Lac	56400	9,22	0
	Somme	612000	100	

	Météo city	Data-gouv
Pluviométrie	1102,7	1048
Température	11,9	8,4
Pluviométrie moyenne (mm)	1075,35	
P en m	1,07535	
Température moyenne	10,15	
Surface lac (m2)	56400	
Volume lac (5,5m) en m3	310200	
Volume lac (5,4m) en m3	304560	

2) Calcul des apports sur le BV	
Bilan	
Apport par ruissèlement (m3/ans)	148956,4443
Evaporation (m3/H)	3,5
Evaporation (m3/ans)	30660
Ruissèlement - Evaporation (m3/ans)	118296,4443
Q (m3/j)	324,0998474
Q m3/H	13,50416031
Q m3/s	0,003751156

Annexe 4 : Bilan des apports et des pertes pour le plan d'eau du Châtelard.
Auteur : Aymeric LECAVIL

2.1) Calcul des apports méthode 2 : avec les périmètres et apport par périodes		
		1715742,259
	Maxima (9 mois)	Minima (3 mois)
Apport nappe + infiltration pour la période (m3)	5147226,778	218070,2648
Somme	5365297,043	
Apport totaux (nappe + infiltration + ruissèlement) m3/ans	5514253,488	
Bilan (Apports totaux - pertes par évaporations= Q (m3/ans))	5483593,488	
Q journalier (m3/j)	15023,5438	
Q (m3/H)	625,9809917	
Q (m3/s)	0,173883609	

Tableau permettant de calculer les apports pour le Châtelard à partir d'un produit en croix réalisé à partir du plan d'eau de Lescheraines

	Lescheraines	
	Maxima (3 mois)	Minima (9 mois)
Superficie (m2)	38000	42000
Apport (m3/H)	893	1135
Apport (m3/ans)	7822680	994260

Auteur : Aymeric LE CAVIL



[illegible]

Annexe 6 : Dimensionnement de l'ouvrage.

Auteur : Aymeric LE CAVIL

Essai n°1	J'ai essayé de dimensionner un trapèze à partir de mes paramètres souhaités					
Dimensionnement trapèze			On fixe b = 0,4			
Surface Sm (b + mh) h	0,105					
B (b+2mh)	0,130105896					
penté	1 pour 2					
m	2					
h voulu	0,15					
b	0,4					
Surface	0,105					
Périmètre mouillé	1,070820393					
Rayon hydraulique	0,09805566	0,09805566				
Profondeur hydraulique Dh	0,8625					
Surface	0,105					
V (mesurée)	1,67					
Q (m3/s)	0,173883609					
Surface	0,105					
V max	1	1,67	0,7			
Q (m3/s)	0,105	0,17535	0,0735			

Formules

		
	Rectangle	Trapeze
Surface S	b h	(b + mh)h
Périmètre mouillé P	b + 2h	b + 2h√(1+m²)
Rayon hydraulique Rh	$\frac{b \cdot h}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$
Largeur B	b	b + 2mh
Profondeur hydraulique Dh	h	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2mh}$

Manning-Strickler			
	Q normal	Q10	
Cours d'eau régulier K=	30	30	
Rh	0,110851449	0,19362789	
Jf	0,0246	0,0246	
Sm	0,1575	0,405	
b=	0,75	0,75	
m=	2	2	
Lm=	1,35	1,95	
g	9,81	9,81	
h	0,15	0,3	
V (Manning-Strickler)	1,085799721	1,57483149	
Q (Manning-Strickler)	0,171013456	0,63780675	
Q total apports	0,173883609		
Q 10	0,436161542		

Surface mouillée :

$$S_M = \left[\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\theta}{2\pi} \right] - \left[\frac{1}{2} \cdot 2R \sin \frac{\theta}{2} \cdot R \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$S_M = \left[\frac{D^3}{8} \cdot \theta \right] - \left[\frac{D^3}{4} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$S_M = \left[\frac{D^3}{8} \cdot \theta \right] - \left[\frac{D^3}{8} \cdot \sin \theta \right]$$

$$S_M = \frac{D^3}{8} \cdot [\theta - \sin \theta]$$

Formule de Chézy $V = C \sqrt{R_h J_f}$
 où C : coefficient de Chézy ($\rho g/k$)^{0,5} où k = taille des aspérités du lit

Formule de Manning-Strickler
 $V = K R_h^{2/3} \sqrt{J_f}$ donc $Q = K \cdot Sm \cdot \sqrt{J_f} \cdot R_h^{2/3}$

► Formule de Manning - Strickler

Valeurs de k : coefficient de Manning Strickler (adimension)
 Représente la rugosité des parois, « freinant » les écoulem

Canal bétonné, très lisse	75 - 100
Canal bétonné, état moyen	50 - 75
Canal en terre	30 - 50
Cours d'eau régulier, bien entretenu	40 - 50
Cours d'eau ordinaire	30 - 40
Cours d'eau avec embâcles	20 - 30

Annexe 7 : Calcul du débit décennal.
Auteur : Aymeric LE CAVIL

Choix des pluies en fonction d'un document

Source : http://www.documentation.saufrance.fr/entrepotsDAI/AERMC/R109/10_gdf

Loi Montana $h(t,F) = a(F)^b \cdot t^{1-b}(F)$

$h(t,F)$: hauteur de précipitation maximale de la pluie de durée t , de fréquence de dépassement F en mm/mo,
 t : temps exprimé en min
 F : fréquence de dépassement
 $a(F)$ et $b(F)$: Coeff de Montana

Station de Chambéry (1979 - 2006)	
Période de retour	10 ans
a	7,202
b	0,662

Période de retour	10 ans
Durée totale de la pluie	4 heures
Durée période intense	30 minutes
Pluie totale pour 4h (mm)	49,9
Pluie totale (mm/h)	11,475
Pluie totale (mm/min)	0,19125
Pluie totale (mm/s)	0,0031875
Pluie de période intense (mm)	22,7
Intensité max au pas de temps 5 min (mm/h)	77,7

hydrogramme correspondant

PLUIE ET PROJET TRIANGULAIRE
Laboratoire Hydrologie Méthéorologiques de Montpellier

2) Calcul d'un Q 10

Partie III

Méthode rationnelle

Q10 (l/s)

Q10 (l/s)

C: coefficient de ruissellement

A: surface du BV (ha)

i: intensité de la pluie sur le temps de concentration i_{tc} (mm/h)

2.1) Calcul du coeff de ruissellement moyen

Type de surface	Surface bv (m2)	Coeff
Toiture	3489	1
Prairie	137333	0,2
Rosier	400739	0,1
Route	8917	0,9
Grevier	5100	0,6
La c	36400	0
Total (m2)	612000	
ha	61,2	

Coeff moyen pondéré aux surfaces	0,1342
Q 10 (m3/s)	0,2623
Q10 = Apports max par infiltration	0,4362

II.4 - Cas où il n'existe pas de donnée hydrométrique

a/- Méthode rationnelle

Plusieurs méthodes sont disponibles : la plus ancienne est la Méthode Rationnelle qui utilise un modèle simple de transformation de la pluie (écrite par son intensité i), supposée uniforme et constante dans le temps, en un débit instantané maximal à l'exutoire. Celui-ci est atteint lorsque l'ensemble du bassin contribue à la formation du débit, donc lorsque la durée de l'événement est égale au temps de concentration du bassin versant. Cette méthode est généralement appliquée pour les bassins versants ayant :

- une superficie inférieure à 5 km² et servira pour le dimensionnement des passages inférieurs ou supérieurs des canaux d'irrigation.

$$Q_{pluieORA} = 0.167 \times C_r \times i_T \times A$$

$Q_{pluieORA}$	debit de pluie de pointe par la méthode rationnelle (m3/s)
C_r	coefficient de ruissellement
i_T	intensité de la pluie de période de retour T (mm/min)
A	surface du bassin versant (ha)

En général :

$$i_T = i_{10} (N_c / 24)^{0.2}$$

Auteur : Aymeric LE CAVIL

Auteur : Aymeric LE CAVIL59

1 Devis fourni par le SMIAC

2 Prix fournis par un fournisseur du SMIAC

3 http://www.aquaterra-solutions.fr/bordereau_tapis.html

4 http://www.aquasystems-solutions.fr/bordereau_vegetal.htm

5 Fiche réalisée sur un aménagement par Pascal GRILLET, technicien du SMIAC

Bonjour Monsieur,

Nous avons en stock à Chambéry des semences pour berges

– Le sac de 20 kg = 109,00 € HT

— Pour Zone sèche

Possibilité directe depuis le producteur

72,00 € HT le sac de 10 kg franc

Cordislement

- | chiffre besoins | | unité | Prix unitaire HT |
|--|-------------|---------|------------------|
| terrassement déblai/remblai | 514,75 m3 | m3 | 11,50 € |
| terrassement remblai graveleux-terreux | 104,5 m3 | m3 | 15,00 € |
| terrassement remblai terre végétale | 100 m3 | m3 | 18,50 € |
| agencement blocs en place | 79 m3 | m3 | 28,20 € |
| agencement blocs fournis | 45 m3 | m3 | 83,60 € |
| battage pieux/4h 100PIEUX | 25 h | h | 106,10 € |
| pieux Ø20cm | 38 Unités | 1 unité | 3,32 € |
| pieux Ø10/12cm | 225 Unités | 1 unité | 2,27 € |
| grumes | 17 m3 | | 217,00 € |
| Géotextile coco | 2090 m2 | m2 | 1,88 € |
| Géotextile Naptex 2m | 109 m2 | m2 | 0,63 € |
| plants arbustifs | 40 Unités | 1 unité | 1,32 € |
| plants arborescents | 25 Unités | 1 unité | 2,00 € |
| plançons | 900 Unités | 1 unité | |
| Boutures | 1200 Unités | 1 unité | 1,50 € |
| semences | 1370 m2 | 30gr/m2 | 0,18 € |
| fer à béton Ø 20mm | 36 ml | ml | 3,16 € |
| Fil de fer galvanisé 2,7mm | 0 ml | ml | 0,06 € |
| agrafes | 4180 Unités | unité | 0,56 € |
| clôture | 690 ml | ml | 0,65 € |

6 <http://www.cpa-ia-thus.asso.fr/tm/fichiers/113/38/REX%20TM%202013%20-%20Restauration%20morphologique%20du%20ruissseau%20du%20Gareau%20SMVT%202013.pdf>

7 <https://www.techni-contact.com/produits/6347-12343366-passerelle-pieton-ne-bois.html>

8 <http://www.magequip.com/panneau-d-affichage-exterieur-en-bois.html>

Source : Technicien Aquaterra

60

Annexe 12 : Représentation du plan d'eau du Châtelard avant et après aménagements.
 Source : Géoportail. Auteur : Aymeric LE CAVIL. Logiciel : Paint.NET



Table des figures

Figure 1 : Localisation du site d'étude à différentes échelles.	7
Figure 2 : Lit moyen et lit vif du Chéran entre 1948 et 2013.	9
Figure 3 : Les plans d'eau des îles du Chéran.	10
Figure 4 : L'intérêt de la pêche du point de vue de la saisonnalité.....	12
Figure 5 : Zonage du risque inondation. Source : Géorisques. Auteur : Aymeric LE CAVIL	14
Figure 6 : Risques de gonflement d'argile et de cavités au.	14
Figure 7 : Zonage du PLU à proximité du plan d'eau.....	15
Figure 8 : Cartographie de la zone Humide à proximité du plan d'eau.....	15
Figure 9 : Coupe simplifiée du massif des Bauges, (d'après M. Gidon (http://www.alpes-geol.fr) in Denavit 2005).	17
Figure 10 : Cartographie des Karst des Bauges. Sources : SIG PNR Du Massif des Bauges.....	17
Figure 11 : Les protections du plan d'eau du Châtelard face au risque d'inondation	18
Figure 12 : Profil altimétrique du plan d'eau.	19
Figure 14 : Photos des zones présentant des apports par	20
Figure 13 : Apports de « surface »	20
Figure 15 : Ruisseau alimentant le plan d'eau.	21
Figure 16 : Bassin versant du plan d'eau du Châtelard.	21
Figure 17 : Représentation des proportions des surfaces du bassin d'alimentation du plan d'eau.....	21
Figure 18 : Buse du plan d'eau côté lac et côté rivière. Source : Aymeric LE CAVIL	23
Figure 19 : Truite fario du plan d'eau et truites sur frayères .Source : Stéphane Jan .2006.....	23
Figure 20 : Evaluation de la distance franchissable maximale par des salmonidés dans un écoulement de vitesse donnée.	25
Figure 21 : Evaluation de la distance franchissable maximale pour les bouvières et vairons	25
Figure 22 : Tapis d'algues à l'extrémité Sud du Lac.....	26
Figure 23 : Tuyaux PVC canalisant le ruisseau.....	26
Figure 24 : Objectif de l'état écologique pour le Chéran, le Dadon et le Nant d'Aillon	27
Figure 25 : Carte des sources de pollutions.	28
Figure 26 : Situation schématique avant travaux - vu en coupe transversale.	31
Figure 27 : Formules sur le trapèze. Source : Diamètre hydraulique. 20216. https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique	32
Figure 28 : Ouvrage dimensionné. Vu, en coupe transversale.....	34
Figure 29 : Vu en coupe transversale d'une berge après la réalisation des travaux.....	35
Figure 30 : Schéma de principe du tressage de saule. Source : AquaTerra. « Tressage de saule ». http://www.genie-vegetal.eu/page/55/4-5--tressage-de-saule.htm	36
Figure 31 : Vu en coupe transversale de la berge avec un tressage.	36
Figure 32 : Schéma de principe de la passerelle installée sur les berges après la création du ruisseau. Vu en coupe.....	37
Figure 33 : Modélisation finale du projet d'aménagement du ruisseau.....	38
Figure 34 : Schéma simplifié des éléments à retirer. Vue en coupe transversale.	39
Figure 35 : Principe de fonctionnement d'un radeau végétalisé	41
Figure 36 : Graphique des résultats des radeaux végétalisés sur différents paramètres, lors d'essais menés en Allemagne et au Royaume-Uni en laboratoire et sur site-test. Source : AQUATERRA SOLUTIONS®	42
Figure 37 : Cartographie des radeaux végétalisés.....	42
Figure 38 : Iris des marais.....	43
Figure 39 : Zone d'implantation de l'Iris des marais.	44
Figure 40 : Exemple de panneau explicatif.	45
Figure 41 : Représentation du plan d'eau du Châtelard avant et après aménagements.	46

Table des tableaux

Tableau 1 : Calcul des apports avec les périmètres et les apports par périodes	20
Tableau 2 : Les apports par ruissèlement	22
Tableau 3 : Pertes par évaporations.....	22
Tableau 4 : Bilan des apports et des pertes à partir des périmètres	22
Tableau 5 : Mesures dans la buses le 20/02/2017.....	24
Tableau 6 : Mesure des temps de parcours du flotteur.....	24
Tableau 7 : Calcul du débit	24
Tableau 8 : Paramètres calculés.....	32
Tableau 9 : Résultat après avoir appliqué la formule de Manning-Strickler.....	33
Tableau 10 : Caractéristiques des pluies de la station de Chambéry.....	33
Tableau 11 : Calcul du débit décennal	33
Tableau 12 : Résultat suite à l'application de la formule de Manning-Strickler pour le Q10	34
Tableau 13 : Mélange grainier pour une berge. Source : Aqua Terra. Disponible sur : http://www.genie-vegetal.eu/page/188/2--nos-melanges-grainiers.htm	35
Tableau 14 : Calcul du volume à déblayer pour une longueur de 115m	39
Tableau 15 : Estimation du coût du projet.....	40
Tableau 16 : Coût du projet. Source : technicien Aquaterra.....	43
Tableau 17 : Caractéristiques de l'iris pseudoacorus.....	43
Tableau 18 : Coût des aménagements	46

Table des Annexes

Annexe 1 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et 2 et des zones Natura 2000.	54
Annexe 2 : Résultats de l'étude réalisée en 1986 sur le plan d'eau de Lescheraines.	54
Annexe 3 : Calcul des apports de surface. 3.....	55
Annexe 4 : Bilan des apports et des pertes pour le plan d'eau du Châtelard.	55
Annexe 5 : Calcul de la pente et du débit de l'exutoire.	56
Annexe 6 : Dimensionnement de l'ouvrage.	57
Annexe 7 : Calcul du débit décennal.	58
Annexe 8 : Calcul des surfaces à déblayer.....	59
Annexe 9 : Estimation du budget.	59
Annexe 10 : Sources pour réaliser le budget.....	60
Annexe 11 : Formule de plantes pour les radeaux végétalisés.....	60
Annexe 12 : Représentation du plan d'eau du Châtelard avant et après aménagements.	61

35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Sous la direction de :
PEETERS Pierre

LE CAVIL Aymeric
Projet individuel
Promotion 2016-2017

Aménagement du plan d'eau du Châtelard

Résumé :

Les milieux aquatiques ont souffert dans le passé des activités humaines ce qui a causé une diminution de leur surface et une fragmentation des habitats entraînant une érosion de la biodiversité et parfois une dégradation de la qualité des milieux.

De nos jours, les exigences réglementaires contribuent à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces et au bon état écologique des masses d'eau .

Le site d'étude se situe dans le département de la Savoie, sur la commune du Châtelard, commune rurale et fortement boisée. Elle abrite le plan d'eau du Châtelard sur lequel se base le projet individuel. Ce plan d'eau a été créé de toute main suite à l'extraction de granulats dans le lit du Chéran de la plaine du Châtelard dans les années 1980.

Une étude sur le site a été menée afin de déterminer des problématiques. Il a pu-être identifié que la buse enterrée servant d'exutoire était un réel frein à la libre circulation des espèces. A cela vient s'ajouter les problèmes d'eutrophisation du plan d'eau modifiant la composition physico-chimique du milieu, causant des blooms algaux et pouvant potentiellement polluer la nappe du Chéran.

Au vu de ces problèmes, il a été proposé différents aménagement. Tout d'abord il sera créé un ruisseau connecté avec la rivière du Chéran dans le but de favoriser le déplacement et la vie des espèces aquatiques. Dans un second temps, il y aura l'installation de plantes filtrantes en bordure de plan d'eau et des radeaux flottants végétalisés dans le but d'améliorer les berges, la qualité paysagère et limiter le processus d'eutrophisation.

Ces aménagements pourront faire l'objet d'une mise en valeur avec l'installation d'un panneau explicatif faisant partie intégrante de la promenade savoyarde de découverte du site.

Mots Clés : Exutoire, eutrophisation, continuité écologique, bilan hydrique.

Localisation géographique : Rhône-Alpes, Savoie, 73